

# PM. Magazin

7/1982 18. Juni 1982

DM 5,-

**Fußball**

Die besonderen  
Muskeln der  
Torschützen-Könige

★

**Alexander der Große**

Warum er so oft  
siegte und woran  
er scheiterte

★

**Fotografie**

Wie Computer  
automatisch für scharfe  
Bilder sorgen

★

**Kamel**

Großflugzeuge  
Dialekte

*Katastrophe in der  
Nordsee: Die »Alexander L.  
Kielland« - 140 Meter  
hoch und 10000 Tonnen  
schwer - kippt in  
schwerem Sturm um.*



Der Kampf, den Konstrukteure jetzt  
ein für allemal gewinnen wollen:

## Orkan gegen Bohrinnsel!



# INHALT

7/1982

## Titelgeschichte

Warum Bohrinseln sinken und wie sie sicherer werden sollen 90

## Linguistik

Der Unterschied zwischen Dialekt und Sprache 32

## Weltgeschichte

Was trieb Alexander den Großen dazu, die Welt zu erobern? 64

## Elektronik und Bankwesen

Der Bildschirm wird zum Bankschalter 76



## Botanik

Jede Pflanze sieht mit Milliarden Augen

Unzählige Sehpigmente geben das Kommando zur Blütenbildung. 84

## Fototechnik

Wie die Kamera das Fotografieren lernte 40

## Himmelskunde

Infrarot-Astronomie: Ein neuer Satellit soll den Weltraum erforschen 62

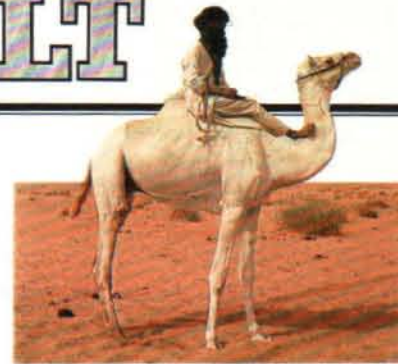
## Evolution

Aufsehererregende Theorie: »Die Menschwerdung fand im Wasser statt!« 12

Schon Babys können schwimmen – jetzt werden auch Geburten unter Wasser vorgenommen.



Alexander: Er marschierte mit seiner Armee bis zum Indus.



Für Wüstenbewohner als Last- und Reittier unentbehrlich: Tuareg mit einhöckrigem Dromedar.

## Tierforschung

Warum Kamele Höcker haben 48

## Fußball

Was ist so schwierig am »scharfen Schuß«? 8

## Physiologie

Wie das menschliche Gedächtnis funktioniert 54

## Flugzeugtechnik



Die riesigen Transporter, die jetzt geplant werden

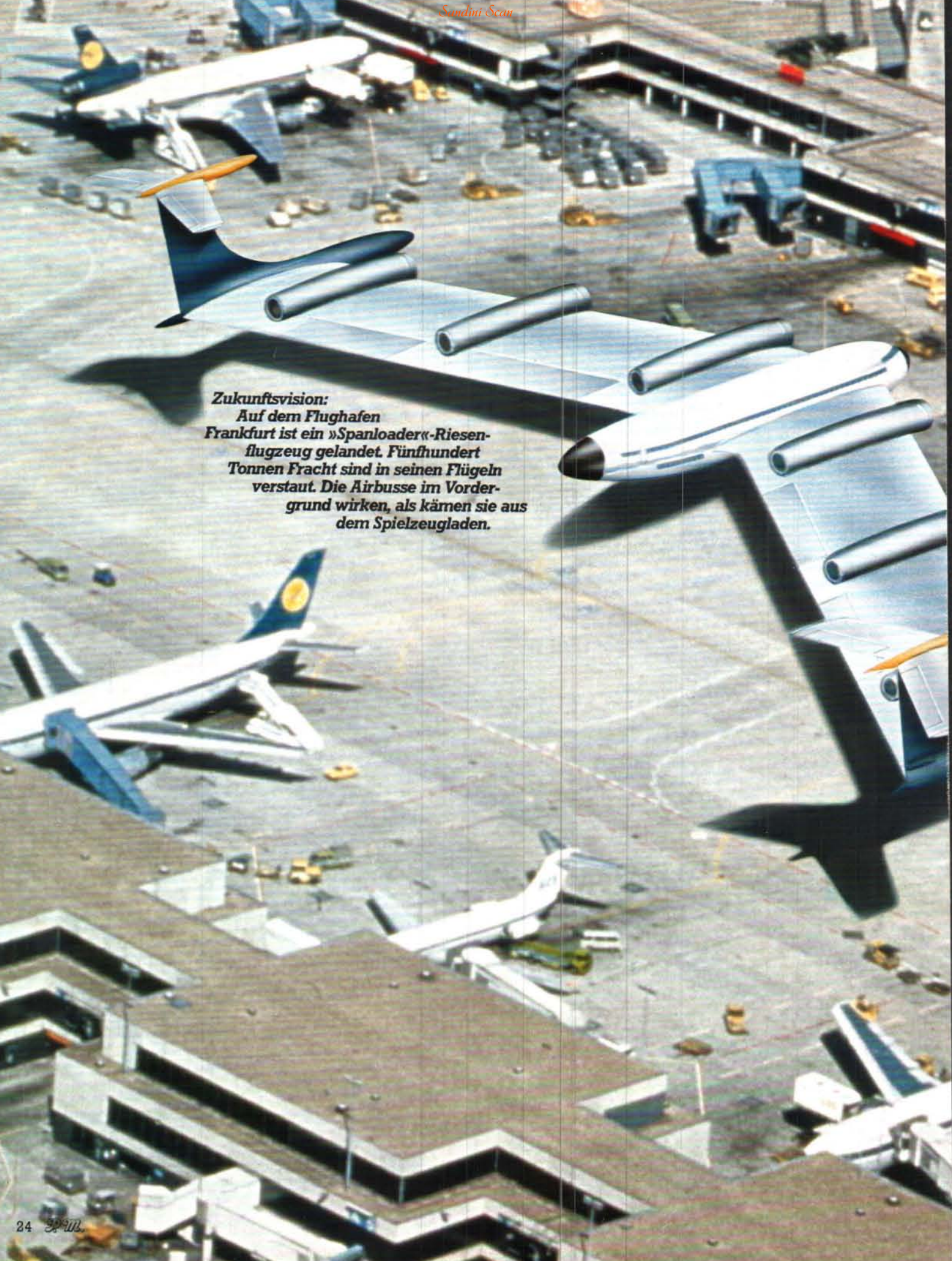
Für sperrige Güter konzipiert: Riesen-transporter »Super Guppy«.

24

## Rubriken

|                   |     |
|-------------------|-----|
| Frage und Antwort | 4   |
| Ohne Worte        | 11  |
| Impressum         | 30  |
| P.M.-Cartoon      | 46  |
| P.M.-Zitate       | 82  |
| P.M.-Rückblende   | 100 |
| P.M.-Quiz         | 102 |
| P.M.-Kurzberichte | 105 |
| Im nächsten Heft  | 106 |





**Zukunftsvision:**  
Auf dem Flughafen  
Frankfurt ist ein »Spanloader«-Riesen-  
flugzeug gelandet. Fünfhundert  
Tonnen Fracht sind in seinen Flügeln  
versteckt. Die Airbusse im Vorder-  
grund wirken, als kämen sie aus  
dem Spielzeugladen.





Flugzeugtechnik:

# **Die riesigen Transporter, die jetzt geplant werden**

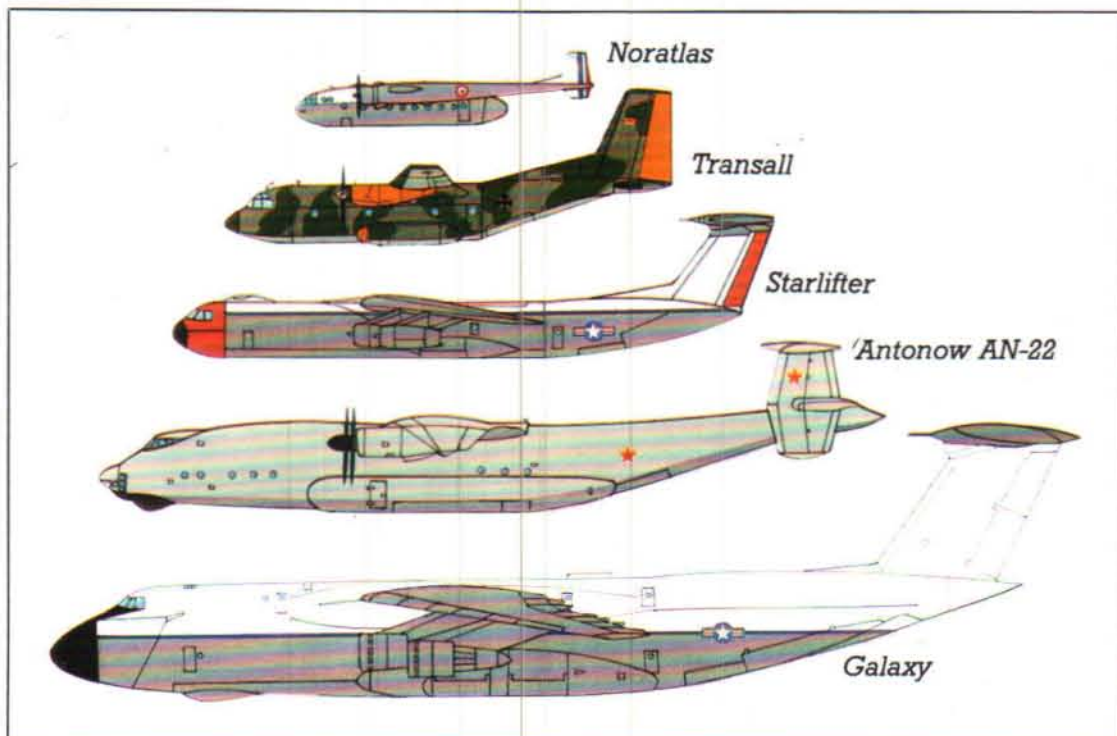
**Die größten Flugzeuge von heute können gut hundert Tonnen Nutzlast tragen. Berechnungen zeigen: Fünfhunderttonner wären viel wirtschaftlicher. Kann ein Pilot solche Giganten überhaupt noch beherrschen?**



# »Schwertransporter« für die Luftstraßen

## Der Weg vom Achttonner zum Hunderttonner

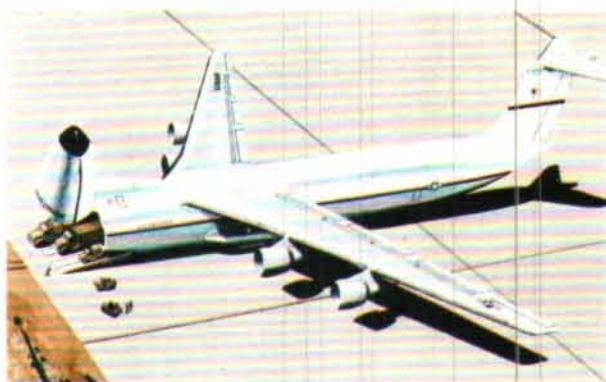
Einer der bekanntesten Militärtransporter in den fünfziger Jahren war die »Noratlas«. Sie konnte acht Tonnen transportieren. Die »Transall«, gebaut zu Ende der sechziger Jahre, schaffte schon 16 Tonnen. Das Wettrennen der Riesen-transporter wurde jedoch zwischen den USA und Rußland ausgetragen. 1963 wurde der amerikanische »Starlifter« gebaut. Er konnte 40 Tonnen zuladen. Zwei Jahre später flog die russische »Antonow AN-22«. Nutzlast: 80 Tonnen. 1968 startete dann die amerikanische »Galaxy« mit hundert Tonnen an Bord. Ihre Spannweite: 68 Meter. Länge: 76 Meter.



## Trägt 180 Tonnen: die große Schwester der »Galaxy«.

So stellen sich die »Galaxy«-Konstrukteure die größere Version, die LGA-144, vor. Nutzlast: 180 Tonnen.

Spannweite: 88 Meter. Länge: 87 Meter. Sie soll in den neunziger Jahren gebaut werden.



**W**as ist der Unterschied zwischen einem langweiligen und einem aufregenden Flugzeug? Diese Frage muß jeder Leser für sich selbst beantworten; meist stellt sich dann heraus: Langweilig sind alle Flugzeuge, die weder besonders schnell noch besonders groß sind. Aufregend findet der Mensch dagegen die »superschnellen Flitzer« und die »dicken Brummer«.

Was die Geschwindigkeit betrifft: Hier hat sich in den letzten zwei Jahrzehnten nicht sehr viel verändert. Schon in den sechziger Jahren erreichten Jagdflugzeuge zweifache Schallgeschwindigkeit und mehr. Bei dieser Grenze ist es geblieben.

Höhere Machzahlen (Machzahlen sind das Maß für die Schallgeschwin-

digkeit) sind zwar technisch möglich, aber nur für Spezialzwecke sinnvoll. Das amerikanische Spionageflugzeug SR-71 (»Blackbird«) bringt es in 30000 Meter Höhe auf 3,5 Mach Schallgeschwindigkeit.

Jetzt zeichnet sich aber ab, daß es über kurz oder lang weit größere Flugzeuge geben wird als heute. Noch immer ist das Flugboot »Hercules« das größte Flugzeug aller Zeiten. Als es am 2. November 1947 mit seinem Konstrukteur Howard Hughes zum ersten und einzigen Mal 914 Meter weit flog, da gingen 193 Tonnen in die Luft.

Diese Zahl wird heute übertroffen, wie wir gleich sehen werden. Die Flügelspannweite von 97,54 Metern jedoch wurde seit damals nicht mehr erreicht. Der amerikanische Bomber

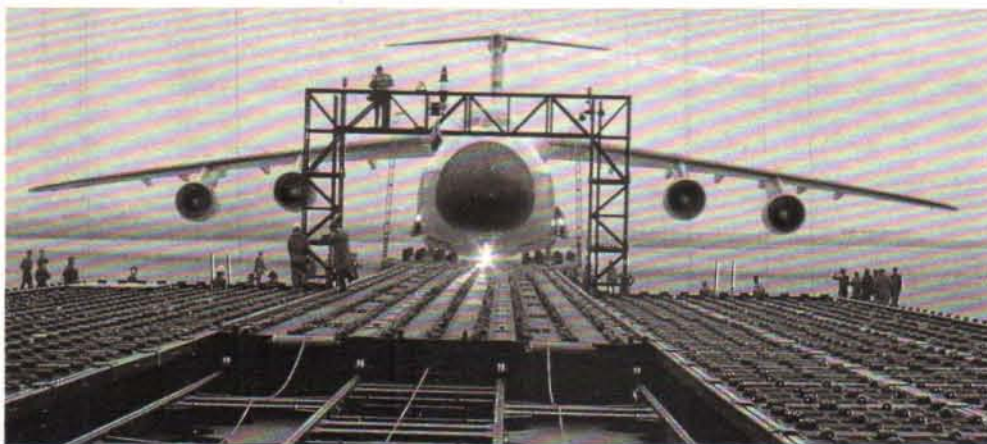
B-52, der, wenn er beim Start gefilmt wird, immer »riesig« aussieht, hat nur 56,38 Meter Spannweite – weit weniger als der Bomber B-36, der es auf 70,10 Meter brachte und von zehn Motoren angetrieben wurde.

Heute werden die Bomber leichter und kleiner, die militärischen und zivilen Transportmaschinen dagegen größer und größer. Auch diese Entwicklung begann schon Mitte der sechziger Jahre. Damals trug das Düsenverkehrsflugzeug Boeing 707 schon 44 Tonnen Fracht und wog mit Treibstoff und Nutzlast 150 Tonnen.

Die erste Größen-Weltsensation schafften 1965 die Russen. Völlig überraschend tauchte im Juni 1965 beim Aerosalon in Paris der Riesen-transporter Antonow AN-22 »Antaeus« auf. Mit vier jeweils 15000 PS starken Propellerturbinen hatte dieser Gigant ein Startgewicht von 227 Tonnen und konnte in seinem 33 Meter langen Frachtraum rund 80 Tonnen Nutzlast befördern. Zum Vergleich: Die Lockheed »Superconstellation«, eines der letzten Propeller-Langstreckenflugzeuge, hatte in den fünfziger Jahren nur 62 Tonnen gewogen.

Drei Jahre später zogen die Amerikaner nach. Am 30. Juli 1968 startete der Riesen-transporter Lockheed »Galaxy« zum ersten Mal. Bei 348





### **Schluckt die größten Container**

Die Container werden unter einem Gerüst hindurchgeschoben, das die Abmessungen der »Galaxy«-Ladetür hat.

### **Schluckt ganze Flugzeugrümpfe**

Diese »Super Guppy« wurde für das Airbus-Programm gebaut. Sie kann einen Airbus-Rumpf transportieren.

Tonnen Fluggewicht konnte die »Galaxy« rund 100 Tonnen Last befördern.

Heute ist auch dieser Rekord Vergangenheit. Die Boeing 747, der legendäre »Jumbo-Jet«, schleppt sogar mehr als 100 Tonnen Nutzlast und kann 198 385 Liter Treibstoff tanken – 13 000 Liter mehr als die »Galaxy«.

Wer fragt, welches Flugzeug heute das größte ist, dem wird man zwei Antworten geben müssen. Erste Antwort: Die »Galaxy« ist das längste Flugzeug (76 Meter) und hat auch die größte Flügelspannweite (68 Meter). Aber der Jumbo-Jet in seiner Frachtversion Boeing 747 200F ist – zweite Antwort – mit Sicherheit das schwerste Flugzeug aller Zeiten. Größtes Fluggewicht: fast 378 Tonnen.

Wer einem Jumbo-Jet beim Landeanflug zusieht, staunt unwillkürlich darüber, daß solche Riesen überhaupt fliegen können. Der Landeanflug wirkt so träge, daß man meint: Unmöglich kann diese geringe Geschwindigkeit ausreichen, um den Giganten noch in der Luft zu halten.

Freilich: Hier ist eine optische Täuschung am Werk. Der Jumbo ist beim Landeanflug immer noch rund 300

km/h schnell. Daß er so träge wirkt, hängt mit seiner gewaltigen Länge zusammen. Unsere Augen nehmen bei der Beurteilung von Geschwindigkeiten das »Durchfliegen der eigenen Länge« zum Maß. Klar, daß ein zehn oder elf Meter langes Sportflugzeug seine eigene Länge viel schneller hinter sich bringt als der Jumbo-Jet die Strecke von 70,66 Metern – so lang ist er nämlich.

Übrigens: Eine aus dem Jumbo-Jet entwickelte Fallschirmjäger-Kommandozentrale vom Typ Boeing E-4A brachte es sogar auf 385,6 Tonnen Gesamtgewicht.

Wie können Piloten einen solchen Riesen beherrschen? Überraschenderweise ist das ziemlich einfach. Wer eine Boeing 747 steuert, merkt wenig davon, daß er ein Ungetüm unter sich hat. Unter sich – damit hängt die größte Schwierigkeit zusammen. Die Besatzung thront rund zehn Meter über dem Beton der Startbahn wie im dritten Stock eines Wohnhauses.

Als man die Boeing 747 konstruierte, glaubte man noch, daß die Piloten bei der Landung Schwierigkeiten be-

kommen könnten. Um die Abschätzung der letzten Höhenmeter vor dem Aufsetzen zu erleichtern, wollte man unter dem Rumpf Fernsehkameras einbauen. Das erwies sich als überflüssig. Die Piloten gewöhnten sich sehr schnell an ihren hohen Kommandostand.

Wie aber ist es mit den Steuerkräften? Nun, schon bei weit kleineren Flugzeugen ist kein Mensch mehr in der Lage, die Stellruder über Knüppel oder Steuerhorn noch mit der Kraft seiner Arme zu bewegen. Hydrauliksysteme nehmen den Piloten die Arbeit ab – ähnlich wie in den Autos Servolenkung und Bremskraftverstärker.

Heute gewinnt die »Fly by wire«-Technik immer mehr an Bedeutung. Die Steuersignale werden durch Draht als elektrische Impulse weitergegeben. Damit die Piloten dennoch wissen, was sie tun, haben die Konstrukteure ein »künstliches Gefühl« eingebaut. Je nach Fluggeschwindigkeit und Flugmanöver spüren die Hände am Steuerhorn einen mehr oder weniger starken Widerstand. So können die Piloten auch körperlich den Flug erleben und vor allem die Auswirkungen dessen, was sie tun.

An eines müssen sich die Piloten freilich gewöhnen: Jumbo-Jets reagieren träger als kleinere Maschinen. Wer den Steigflug nach dem Start nicht rechtzeitig »abfängt«, findet sich schnell in einer größeren Höhe wieder als eigentlich geplant. »Overshoot« heißt das in der Fachsprache.

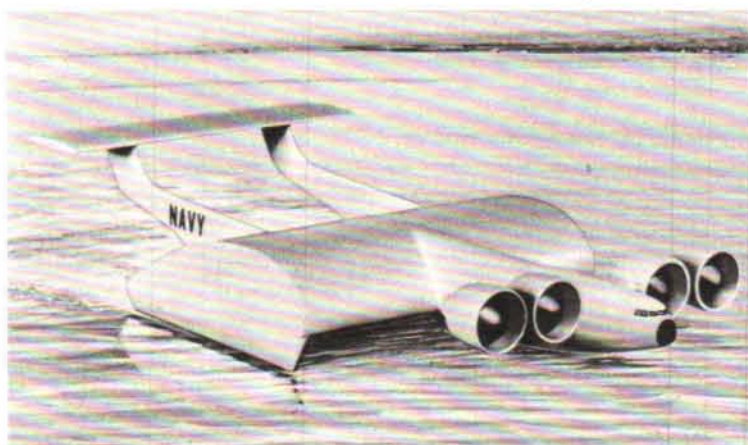
Auch beim Start selbst wirkt sich das hohe Fluggewicht aus. Noch etwas länger als andere Maschinen ist der Jumbo-Jet der Zentrifugalkraft ausgesetzt. Sie treibt ihn geradeaus, obwohl er sich doch in einem sanften Bogen aufwärts schwingen möchte. Die Folge für den Beobachter: Abrupt, fast von einer Zehntelsekunde auf die andere, geht der Jumbo nach quälend langem Rollen in einen fast schwerelosen Steigflug über.

Kaum vorstellbar, daß inzwischen noch weit größere Flugzeuge in der Planung sind. Wie sollen sie aussehen? Wozu braucht man sie? Um Passagiere zu befördern, sicher nicht. Die Zivilluftfahrt stagniert seit Jahren. Heute bleiben über dem Atlantik täglich weit über 10 000 Plätze leer. Das entspricht der Sitzplatzkapazität von einigen Dutzend Jumbos.

Aber außer Menschen werden auch Waren mit dem Flugzeug be-



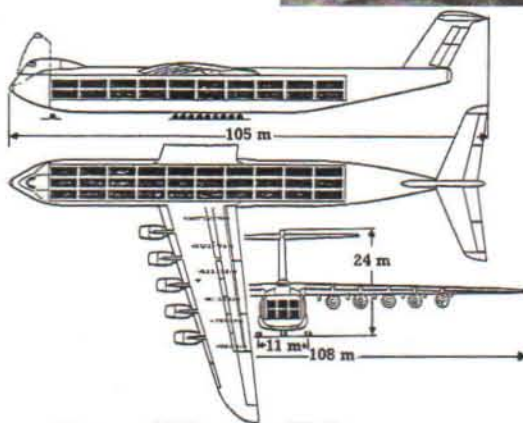
# Wieder aktuell: Flugboote



**Schwimmender »Dickflügler«**  
So stellt sich die US-Marine ein Schwerlast-Flugboot vor. Transportkapazität in den Flügeln und im Rumpf: 200 Tonnen.

## Riesenflugboot Do-X

Das erste Riesenflugboot der Welt, die Do-X, wurde 1929 gebaut. Sie konnte 150 Passagiere oder 24 Tonnen Fracht an Bord nehmen.



## Flugschiff Dornier VLA

Eine Idee des Professors Claudius Dornier jr.: ein Riesenflugschiff, das 354 Tonnen Fracht befördert.

fördert. Und der Luftfrachtverkehr entwickelt sich beinahe stürmisch. In den zehn »siebziger Jahren« verdreifachte sich das Luftfrachtaufkommen. Der Grund: Niedrigere Frachttarife, die durch die gewaltigen Ausmaße des Jumbo-Jets und ähnlicher Großraumflugzeuge möglich wurden.

Hierzu eine Zahl: Um eine Tonne

Fracht einen Kilometer weit zu befördern – das ist die in der Luftfahrt übliche Vergleichsbasis – verursacht eine Boeing 747 rund 30 Prozent weniger Betriebskosten als das kleinere Vorgängermodell Boeing 707.

Noch immer wird der größte Teil aller Güter zwischen den Kontinenten in Schiffen befördert. Denn die Luftfrachtraten liegen 80 Prozent über den Seefrachttarifen. Vor allem teure Waren reisen im Flugzeug. Nimmt man den Wert aller beförderten Güter, hat der Luftverkehr einen Anteil von 6 Prozent. Geht man dagegen nach der Menge, dem Gewicht, der Tonnage, dann sind es nur 0,6 Prozent aller Güter, die in Flugzeuge verladen werden.

Jetzt kommt eine Rechnung, die Flugzeugherstellern das Herz höher schlagen läßt: Könnte man ein Flugzeug bauen, das dreimal so viel Fracht aufnehmen könnte wie der Jumbo-Jet, dann würden die Betriebskosten noch einmal um ein Drittel sinken. Viele Güter, die heute noch

verschifft werden, wären dann für den Lufttransport gewonnen.

Kann man ein solches Flugzeug bauen? Es gibt keinen Grund, der dagegen spricht. Ein Superfrachter mit 350 bis 400 Tonnen Nutzlast würde insgesamt – Nutzlast, Treibstoff und Leergewicht der Maschine – über 1000 Tonnen wiegen. Spannweite und Länge müßten über 100 Meter liegen.

Ein solches Flugzeug hätte noch einen weiteren Vorteil. Da man es nur für den Güterfernverkehr braucht, kann man auf all den kostspieligen Komfort verzichten, der in Passagiermaschinen selbstverständlich ist.

Wichtigster Punkt: Die riesige Kabine kommt ohne Druckbelüftung aus, weil Waren auch in 10000 Meter Höhe ohne Schaden reisen können. Man spart das Gewicht der Druckanlage, und man braucht keine schweren Ladetore mit massiven Verriegelungen und Abdichtungen.

Den Rumpf könnten die Konstrukteure für den Containerbetrieb »maßschneidern«, so daß er 60 große Container aufnehmen könnte – in drei Reihen und doppelt übereinander geschichtet. Dies bedeutet, daß der Frachtraum zehn Meter breit sein müßte. Zum Vergleich: Ein Tennisplatz ist von linker Seitenlinie bis rechter Seitenlinie 10,97 Meter breit.

Auch die Rumpfform wird bei den Riesen von morgen anders werden. Die heutigen Flugzeuge haben einen kreisrunden oder ovalen Rumpfschnitt. Bei den Großfrachtern denkt man an rechteckige Rümpfe. Es gibt sogar Studien für Flugzeuge, die überhaupt keinen Rumpf im üblichen Sinn mehr haben. Vorn sitzt das Bugsegment mit dem Cockpit. Dahinter folgt nur eine pritschenähnliche Lade- und Deflache wie bei einem Lkw. Überdimensionale sperrige Güter könnten darauf im freien Luftstrom festgezurt werden. Wahlweise könnten natürlich auch Container auf dieser Lade- und Deflache befördert werden.

Das größte Flugzeugprojekt wurde von Boeing untersucht: Es ist ein Ungetüm mit einem Rechteckflügel von 154 Metern Spannweite, zwei relativ schmalen Rümpfen und zwölf Strahltriebwerken. Mit einem Fluggewicht von mehr als 1600 Tonnen, fünfmal soviel wie ein heutiger Jumbo, könnte dieser Spezialfrachter pro Tag drei Milliarden Kubikmeter Flüssiggas aus der Arktis nach Kanada und in die USA schleppen. Als Gasbehälter sollen die dicken, rohrförmigen Holme dienen, die von Flügelspitze zu Flügelspitze reichen und gleichzeitig



die Festigkeit der 2500 Quadratmeter großen Tragflächen garantieren.

Gerade bei diesem Konzept aber zeigt sich eines der größten Probleme solcher Luftgiganten: Das Fahrwerk müßte so weit ausladend gebaut werden, daß man selbst auf den breitesten Startbahnen Platzprobleme hätte, ganz abgesehen von den viel zu schmalen Rollwegen mit ihren engen Kurvenradien. Man kam deshalb schon auf die Idee, anstelle von Rädern Luftkissen-Landesysteme zu verwenden, ganz ähnlich wie bei den Kanalfähren, die auf einer von Gummischürzen zusammengehaltenen, unter leichtem Überdruck stehenden Luftblase schweben.

Noch konsequenter aber ist der Vorschlag von Professor Claudius Dornier jr.: Er denkt an ein Flugschiff mit 1000 Tonnen Gewicht, das in großen Seehäfen operiert, wo ohnehin schon die Infrastruktur für die Container-Frachtsysteme besteht. Denn die heute existierenden Flughäfen haben ihre Kapazitätsgrenzen erreicht und könnten den Güterumschlag solcher Frachtriesen wohl kaum bewältigen.

Das höhere Strukturgewicht eines Flugschiffs, bedingt durch den schweren bootsförmigen Rumpfboden, der die Wasserkräfte bei Start und Landung aufnehmen muß, ist bei so großen Maschinen kein gravierender Nachteil mehr. Denn das Gewicht des Fahrwerks bei einem Landflugzeug steigt unverhältnismäßig mit dem Gewicht: Je größer die Maschine, desto mehr wiegt prozentual das immer massivere Fahrwerk.

Die zehn Strahltriebwerke des Dornier-Flugschiffs sind über den Flügeln installiert, um sie möglichst gut vor Spritzwasser zu schützen. Wegen seiner Größe und der hohen Masse wäre ein solches Riesen-Flugschiff noch viel unempfindlicher gegen meterhohe Wellen, als es früher schon die berühmten hochseefähigen Dornier-Flugboote waren.

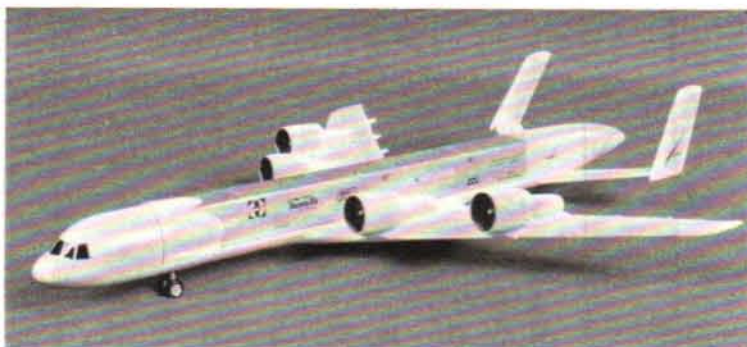
Das Dornier-Flugschiff könnte es in der Transportleistung (Tonnenkilometer pro Stunde) durchaus schon mit Stückgut-Frachtschiffen aufnehmen, die zwar mit 8000 Tonnen rund zwanzigmal mehr laden können, aber auch entsprechend langsamer fahren. Die Wirtschaftlichkeit moderner Containerschiffe allerdings wäre erst mit noch viel größeren Frachtflugzeugen von 5000 bis 10000 Tonnen Gewicht zu erreichen, und das ist vorläufig noch eine Utopie.

Wie realistisch sind aber alle diese heute schon untersuchten Pläne für

## Superfrachter im Jahr 2000

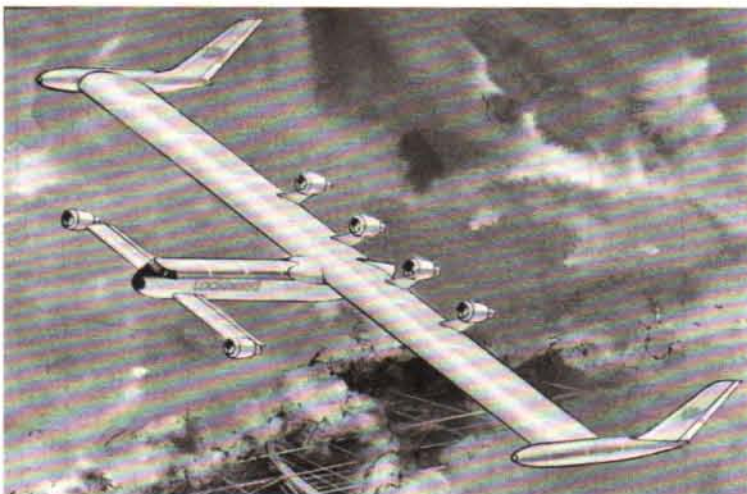
### **Tiefladerflugzeug »Flatbed«**

Hinter der Cockpitkapsel eine »Lkw«-Lade-  
fläche. Container  
und Frachtgüter  
werden einfach  
festgezurr. Auch  
eine Passagier-  
kabine kann ein-  
gehängt werden.



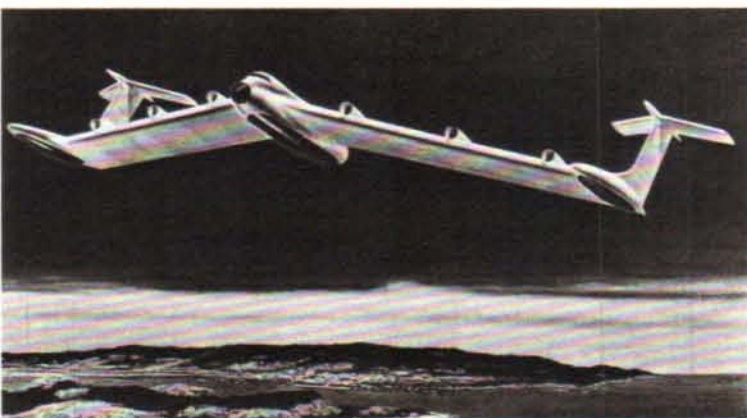
### **Airfrachter mit Wasserstoff- antrieb**

Eine solche  
Maschine könnte  
nach Meinung  
der Ingenieure  
in ihrem  
Riesenflügel 250  
Tonnen Fracht  
laden. Im Rumpf  
die gekühlten  
Spezialtanks für  
den flüssigen  
Wasserstoff.



### **»Spanloader«- Frachtversion**

Flugzeuge, die  
einmal mehr als  
500 Tonnen  
Fracht befördern  
sollen, haben  
nur noch einen  
Minirumpf. Der  
Frachtraum und  
die Treibstoff-  
tanks sind  
im Flügel unter-  
gebracht.



Frachtflugzeuge der 1000-Tonnen-Klasse? Viele große Flugzeugfirmen in Ost und West, aber auch die NASA beschäftigen sich seit Jahren sehr intensiv mit den technischen Problemen solcher Giganten.

Einige Rätsel gibt beispielsweise die Aerodynamik auf, denn mit zunehmender Flugzeuggröße ändert sich das Verhalten der Luftströmung. Und schon bei den Militärtransportern C-141 Starlifter und C-5A Galaxy mußte man die Erfahrung machen, daß der Widerstand und die Flügelbeanspruchung größer waren als er-

rechnet. Für die Galaxy mußten deshalb in den letzten Jahren alle Flügel mit hohem Kostenaufwand umgebaut und verstärkt werden.

Man kann also nicht einfach eine Galaxy oder Boeing 747 maßstäblich vergrößern, um einen Riesenfrachter beliebiger Größe zu bauen. Neue Rechenverfahren und bessere Windkanäle sind nötig, um den Auftrieb und Widerstand dieser übergroßen Flugzeuge mit einiger Sicherheit vorausbestimmen zu können.

Auch das Gewicht von mehr als 100 Meter langen Flügeln kann heute



**Abonnement-Bestellung Bundesrepublik Deutschland und West-Berlin**

über P.M.-Abonnement-Service,  
GRUNER + JAHR & CO. Postfach 111629  
2000 Hamburg 11, Telefon: 040/41182676

**Abonnement-Bestellung Schweiz**

über P.M.-Leserservice Schweiz, Seeburgstraße 18,  
6006 Luzern, Telefon: 041/313307. Preis für  
Jahres-Abonnement frei Haus sfr. 52,80.

**Abonnement-Bestellung Österreich**

über DPV Wien, P.M.-Leserservice, 1011 Wien,  
Postfach 763. Preis für Jahres-Abonnement ÖS 456.

**Abonnement-Bestellung Ausland**

(ohne Schweiz und Österreich) über D.P.V. P.M.-  
Leserservice, Postfach 101602, D-2000 Hamburg 1.  
Preis für Jahres-Abonnement frei Haus per Normalpost:  
Europa DM 66,-, außerhalb Europas DM 72,-  
(Luftpostpreis auf Anfrage).

**P.M.****Peter Moosleitners interessantes Magazin****GJ**

GRUNER + JAHR AG & CO, Druck- und Ver-  
lagshaus, Niederlassung München, Neher-  
straße 9, 8000 München 80, Telefon: 089/  
41521, Telex: 0529324

Redaktion: Neherstraße 9, 8000 München 80, Telefon:  
089/41521, Telex: 0529323

**Chefredakteur:** Gerhard Peter Moosleitner, Art Director:  
Siegfried Riescher, Chef vom Dienst: Wolfgang Küchler.  
**Redaktion:** Ernst Deissinger, Karin Haglund, Jochen  
Malms, Wolfgang Stegers, Dr. Heiga Szibor, Martin  
Tischaschel, Layout: Volker Barth, Werner Dworschak,  
Hans-Rainer Engelbrecht, Wilfried Schulz. **Bildredaktion:**  
Rosmarie Albig, Ständige Mitarbeiter: Fritz Stempel  
(Perth/Australien), P.J. Blumenthal.

**Verantwortlich für den redaktionellen Inhalt:** Gerhard  
Peter Moosleitner, Neherstraße 9, 8000 München 80;  
für Anzeigen: Helga Rump, Alsterufer 1, 2000 Hamburg 36.  
**Verlagsleiter:** Helmut Liewehr, **Anzeigenleiter:** Alfred  
Feuerstein, **Vertriebsleiter:** Klaus Resch, **Hersteller:**  
Otto Huber.

Bankverbindung: Deutsche Bank AG, Hamburg, Konto  
03/22800, Postscheckkonto Hamburg 8480-204.

P.M. kostet im Einzelhandel DM 5,- einschließlich ge-  
setzlicher Mehrwertsteuer. Abonnement-Service Inland:  
GRUNER + JAHR & CO, Postfach 111629, 2000 Ham-  
burg 11, Telefon: 040/41182676. Ein Jahresabonnement  
P.M. kostet im Inland DM 47,40 (12 Ausgaben) inkl. Ver-  
sand, Zustellgebühr und Mehrwertsteuer. Bei Nichtlie-  
ferung ohne Verschulden des Verlages oder infolge von  
Störungen des Arbeitsfriedens bestehen keine Ansprü-  
che gegen den Verlag. P.M. darf nur mit schriftlicher Ge-  
nehmigung des Verlages im Leserkreis geführt werden.  
Bestellungen von Einzelheften: Zahlen Sie bitte DM 5,-  
pro Heft auf das Postscheckkonto Nr. 7115-203, Post-  
scheckamt Hamburg, Bankleitzahl 20010020 ein. Bitte  
auf dem Empfängerabschnitt die gewünschten P.M.-  
Ausgaben nennen.

Für unverlangte Manuskripte, Fotos und Zeichnungen  
wird keine Haftung übernommen.

Copyright 1982 für alle Beiträge bei GRUNER + JAHR  
AG & CO. Alle Rechte vorbehalten. Nachdruck nur mit  
schriftlicher Genehmigung des Verlages.

Druck: GRUNER + JAHR AG & CO,  
Itzehoe/Holstein. Printed in West-Germany.

Zur Zeit gilt die Anzeigen-Preisliste Nr. 4.



Der Export der Zeitschrift P.M. und ihr Vertrieb im Aus-  
land sind nur mit Genehmigung des Verlages statthaft.

Einem Teil dieser Auflage liegen Prospekte der Firmen  
Markt & Technik, Haar, Sparkasse Stadt Berlin-West, bei.

Fotos und Illustrationen: Seite 1: Enno Kleinert; 3: Syndica-  
tion Int. Fritz Prenzel, Airbus, Sebastian Seidl, Archiv für  
Kunst und Geschichte; 4: C & W Graphische Werkstatt,  
Panavia Aircraft; 8-10: Raoul Manuel Schnell, C & W Gra-  
phische Werkstatt, Sven Simon (3); Courtesy Omni Maga-  
zine 1981; 12-20: Dieter Noss, Raoul Manuel Schnell (2),  
Rod Williams, Bruce Coleman (5), Reinhard-Tierfoto, John  
Mason, Okapia (2), U. Vogt (2), Fred Bavendam/P. Arnold  
Inc.; 24-30: Lufthansa-Bildarchiv/freigegeben durch Luft-  
amt Hamburg Nr. 909/80, C & W Graphische Werkstatt,  
Weltenszyklopädie der Flugzeuge/Südwest-Verlag (5),  
U.S. Airforce, MBB Hamburg, U.S. Navy, Bilderdienst Süd-  
deutscher Verlag, Dornier/Archiv Pletschacher, Lock-  
heed; 32-38: Johannes Gerber; 40-45: Canon Amsterdam,  
Raoul Manuel Schnell (9), C & W Graphische Werkstatt;  
46: Gerhard Brinkmann; 48-52: Jacana (4), Tierbilder  
Okapia, Fritz Prenzel; 54-60: John Holmes, C & W Gra-  
phische Werkstatt (2), Bonner Fakta Agentur; 62: Fokker  
Amsterdam, C & W Graphische Werkstatt; 64-76: Archiv  
für Kunst und Geschichte (2), Kliston Agency Stati Gianna-  
kopoulou Athen (2), Rudolf Hurlzmaier (4), aus Weltrei-  
che 1/Westermann Verlag, Mitchell Beazley; 76-81: Hans-  
jörg Langenfass, C & W Graphische Werkstatt (2), Ver-  
braucherbank (5); 82: dpa (4); 84-88: Siu-Ying Wang,  
H. Smith/University of Leicester, Thomas Cranx (3), aus  
»Entwicklungs- und Bewegungsphysiologie der Pflanze«/  
Blümg (2), Farm-Electric Center; 90-99: Enno Klein-  
ert, Esso/Shell, Mobil Oil (2), C & W Graphische Werk-  
statt, Esso (2), Kijk/Hilbert Bolland, Ca m'interesse; 100:  
R.C. Fritz; 105: aus Aviation Week; 106: MBB, Werck, Karl  
F. Wolfstetter, Felix Adams.

# Luftfrachter mit Atomantrieb

**Ein Reaktor treibt die  
Düsenmotoren  
Die Reichweite eines  
»Atomflugzeugs« wäre  
unbegrenzt. Jedoch  
würde der 230 Mega-  
watt-Reaktor mit den  
Triebwerken allein 180  
Tonnen wiegen. Man  
könnte aber dafür 150  
Tonnen Gewicht für  
das Kerosin einsparen.**



noch nicht exakt genug berechnet werden, vor allem wenn sie wegen des besseren Wirkungsgrads sehr schmal gebaut werden sollen. Lockheed hat deshalb ein spezielles Forschungsprogramm in die Wege geleitet, denn die bisherigen Erfahrungswerte mit Großraummaschinen reichen bei weitem nicht aus.

Gewichtsvorteile versprechen sich die Flugzeugbauer bei Boeing und Lockheed von Nurflüglern, deren Tragflächen so dick wären, daß sie anstelle des Rumpfs als Laderaum dienen können. Bis zu 25 Prozent an Strukturgewicht wären damit einzusparen, weil die Last der Fracht gleichmäßig über den Flügel verteilt wäre. Der Auftrieb würde praktisch genau an der gleichen Stelle erzeugt, wo auch das Gewicht der Fracht angreift. Bei konventionellen Flugzeugen nämlich muß die Auftriebskraft der Flügel mit schweren Holmen und Beschlagen auf den nach unten ziehenden Rumpf übertragen werden.

Nurflügler hat es in der Luftfahrtsgeschichte schon gegeben – wenn auch nicht in diesen Größenordnungen. Der gravierende Nachteil dieser utopisch anmutenden Flugzeuge war aber, daß sie zu hohe Anforderungen an die Piloten stellten. Es fehlt eben das weit hinten liegende herkömmliche Leitwerk, das mit seiner natürlichen »Windfahnen«-Wirkung ein Flugzeug sehr gut stabilisiert und das Steuern wesentlich erleichtert.

In Zukunft aber könnte die Elektronik den Piloten diese Aufgabe abnehmen. Schon heute werden Systeme erprobt, mit denen Flugzeuge künstlich stabilisiert werden können: Elektronische Fühler spüren jede Störung der Fluglage, ausgelöst durch Böen, in Sekundenbruchteilen und steuern Stellmotoren an den Rudern an, die das Flugzeug ohne Zutun des

Piloten sofort in die ursprüngliche Lage zurückzuführen. Nur mit dieser neuen Technik ließen sich die riesigen Nurflügel-Frachter verwirklichen.

Die für 1000 Tonnen schwere Flugzeuge erforderlichen Düsentriebwerke allerdings werden sich nicht grundsätzlich von den heutigen unterscheiden. Man wird sie zwar weiterentwickeln bis zu Schubleistungen von 30 Tonnen und mehr, aber trotzdem sind für diese Riesenflugzeuge wahrscheinlich mehr als vier Motoren nötig: Die meisten Studien gehen von sechs, acht, zehn oder gar zwölf Triebwerken aus.

Aber auch der Atomtrieb käme für künftige Frachter in Frage. Ein Reaktor von 230 Megawatt Leistung würde anstelle des Kerosins die Wärme für die Düsenmotoren liefern. Um aber sicherzustellen, daß dieses kleine Atomkraftwerk bei einem Absturz nicht zerstört wird und schädliche Strahlungen freisetzt, müßte es sehr stark gepanzert werden. Allein die Triebwerksanlage würde deshalb fast 180 Tonnen wiegen.

Dafür müßte man jedoch keinen Treibstoff mehr mitführen und könnte praktisch unbegrenzt lange fliegen. Für ein Atom-Frachtflugzeug bietet sich die Entenkonfiguration geradezu an. Die Tragflügel sitzen dabei ganz hinten, genau da, wo der schwere Reaktor untergebracht ist, und der ganze vordere Rumpf steht dann als Laderaum zur Verfügung.

Wann solche Schwertransporter der Luft wirklich gebaut werden, ist heute nicht mit Sicherheit vorauszusagen. Zu viele technische Probleme müssen erst noch gelöst werden. Aber manche Flugzeugbauer sind zuversichtlich, daß noch vor Ende dieses Jahrhunderts der erste Tausendtonner in Dienst gestellt wird.

**Peter Pletschacher**



# HIMMELSKUNDE

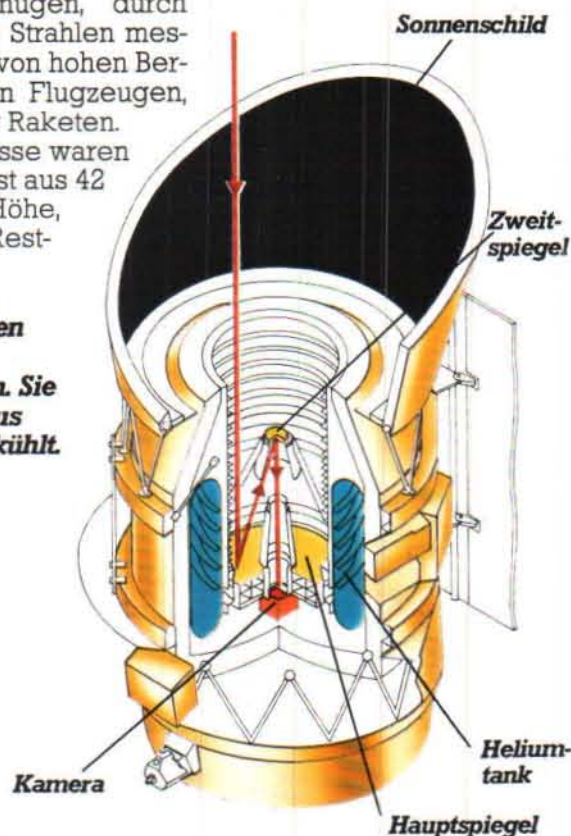
## Infrarot-Astronomie: Ein neues Bild vom Weltall?

In wenigen Wochen beginnt eine neue Ära der Weltraumforschung. Im August startet von Kalifornien aus ein Satellit, der es ermöglicht, einen weiteren Bereich des Alls zu durchleuchten: den Infrarotbereich.

Von der Erde aus ist es nahezu unmöglich, ihn zu erforschen. Die Infrarotstrahlung wird von der Atmosphäre fast ganz verschluckt. Man mußte sich bisher mit einigen »Fen-

stern« begnügen, durch die man die Strahlen messen konnte: von hohen Bergen aus, von Flugzeugen, Ballons oder Raketen. Die Ergebnisse waren jedoch, selbst aus 42 Kilometern Höhe, wegen der Rest-

**Der Infrarot-Satellit mit den wichtigsten Instrumenten. Sie sind auf minus 263 Grad gekühlt.**



**In 900 Kilometern Höhe wird der Infrarot-Satellit die Erde umkreisen und ein neues Bild des Weltraums liefern.**

atmosphäre und der Wärmeabgabe der Geräte ungenau.

Aber gerade der Infrarotbereich ist für die Weltraumforschung von großer Bedeutung. Viele Objekte strahlen nämlich nur im infraroten Spektralbereich. Deshalb nennt man alle Himmelskörper, die mehr als 90 Prozent ihrer Strahlen in diesem Bereich aussenden, »Infrarotobjekte«. Dazu gehören neu entstehende Einzelsterne, Wolken aus interstellarer Materie, die von Sternen aufgeheizt werden; Planetarische Nebel; Quasare und Galaxienkerne. Auch aus dem Zentrum unserer Milchstraße kommen solche Infrarotstrahlen.

Für ein klares Bild von ihnen allen soll in Zukunft IRAS (Infra Red Astronomical Satellite) sorgen, der die Erde in 900 Kilometern Höhe umläuft. Das Besondere an IRAS: Das Teleskop ist tiefgeköhlt. Dies bewirkt ein Tank mit 680 Liter flüssigem Helium – übrigens der größte Heliumtank, der bisher in den Weltraum gebracht wurde.

Dieses Helium sorgt für klare Bilder. Der Hauptspiegel ist direkt mit dem Tank verbunden und ständig auf minus 263 Grad Celsius geköhlt. Dieser Spiegel bündelt die ankommenden Infrarotstrahlen und wirft sie in die Infrarotkamera. Wäre der Spiegel nicht geköhlt, würde er eigene Wärme (Infrarotstrahlen) abgeben und so das Bild der aus dem Weltraum ankommenden Infrarotstrahlen verfälschen. Durch die Köhlung ist der Spiegel »neutral« und gibt nur die Wärmestrahlen weiter, die aus dem Weltraum kommen.

Eine wichtige Aufgabe von IRAS ist, den gesamten Himmel aufzunehmen. Der Satellit umläuft die Erde auf einer Bahn über die Pole. Nach sechs Monaten kann man dann aus einzelnen aufgenommenen Streifen ein Bild des gesamten Himmels zusammensetzen. Außerdem soll IRAS etwa eine Million Infrarot-Strahlungsquellen messen. Die Astronomen erwarten davon zahlreiche neue Entdeckungen.

In vier Jahren soll dann das erste Infrarot-Observatorium mit dem Shuttle in den Weltraum reisen. Dieses Observatorium wird übrigens in der Bundesrepublik gebaut und trägt den Namen GIRL (German Infrarot Laboratory). ★





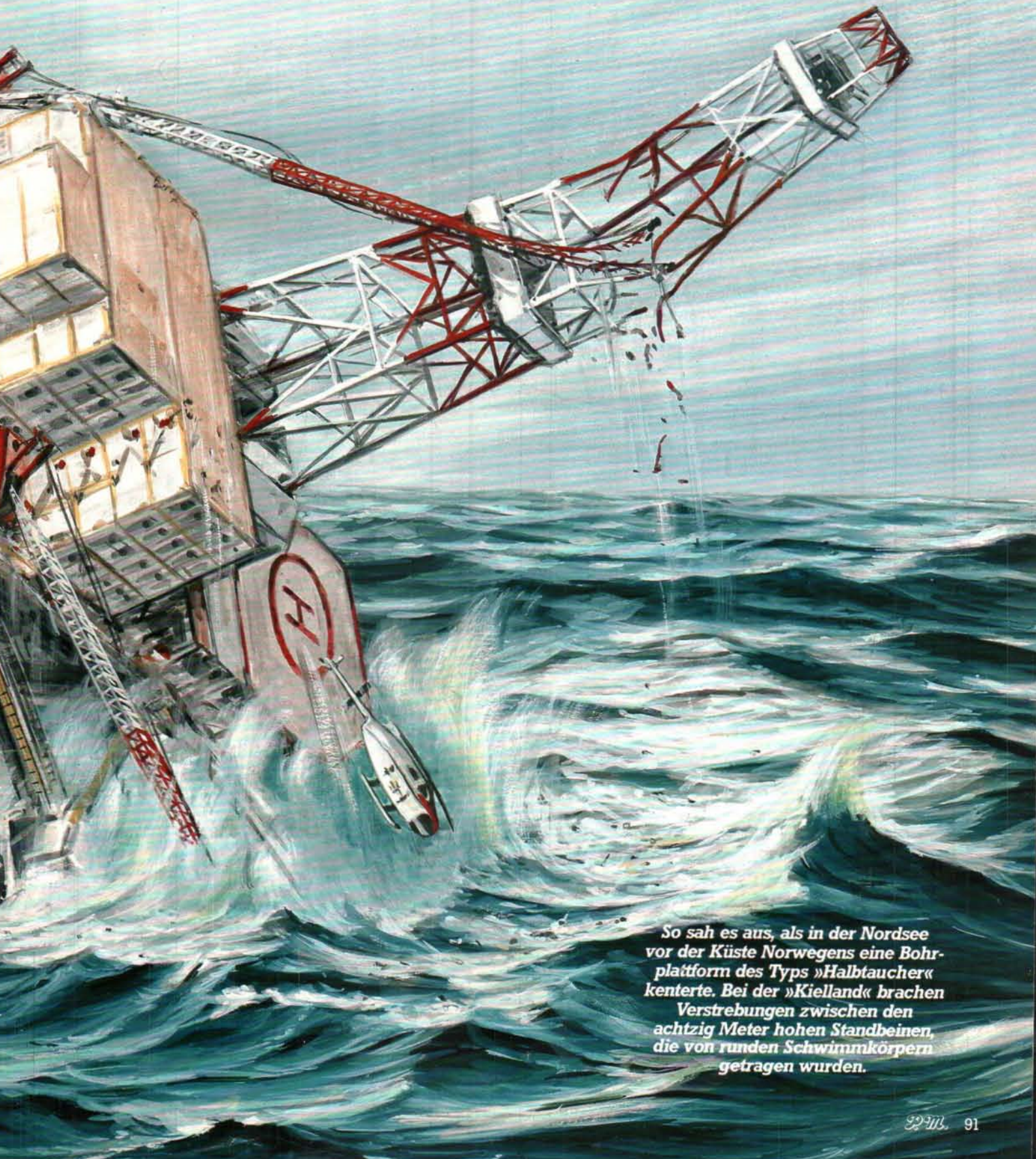
# Katastrophe!

*Zweimal verunglückten schwimmende Bohrplattformen im Orkan. Mehr als 200 Ölarbeiter starben. Jetzt arbeiten Konstrukteure mit Hochdruck an Hochsee-Bohrtürmen, die auch bei schwersten Stürmen nicht kentern können.*





# Die Insel kippt!



So sah es aus, als in der Nordsee vor der Küste Norwegens eine Bohrplattform des Typs »Halbtaucher« kenterte. Bei der »Kielland« brachen Verstrebungen zwischen den achtzig Meter hohen Standbeinen, die von runden Schwimmkörpern getragen wurden.





*Eine dreibeinige Bohrplattform aus Beton im Sturm. Die Gischt tost bis zur Unterkante, dreißig Meter über dem Meeresspiegel. Was die Plattform so sicher macht, zeigt das Bild unten.*

## Bohrinseln: Bodenkontakt macht sie sicherer



*Die Bohrinsel, noch ohne stählerne Plattform, wird aufs offene Meer geschleppt und im tiefen Wasser geflutet. Der Aufbau wird auf Flößen über die Betonsäulen gezogen und befestigt.*

Konzernspitzen der Ölmultis erörtert und waren schließlich Anlaß für einen offiziellen Untersuchungsbericht, den die norwegische Regierung in Auftrag gab.

**D**er Knall war ohrenbetäubend. Laut und peitschend, so, als ob ein ganz schwerer Brecher gegen die stählernen Beine unserer Bohrplattform schlagen würde. Wie von einem mächtigen Faustschlag getroffen, wurde ich mit ungeheurer Wucht gegen die Kabinentür geschleudert, fiel zu Boden und konnte mich nicht mehr erheben. Alles stand schief und schlitterte auf dem Boden. Ich krabbelte zu dem festgeschraubten Tisch, zog mich an seinen Beinen hoch. So hangelte ich dann ins Freie und versuchte zu den Rettungsbooten zu kommen. Die Plattform hatte eine lebensgefährliche Schlagseite. Und der Orkan tobte mit Windstärke zehn übers Deck.

Dies waren die ersten Eindrücke eines der wenigen Überlebenden der größten Katastrophe in der Nordsee nach dem Ausbruch des Ölbooms. Der 27. März 1980 war ein schwarzer Tag in der Geschichte der Ölsuche im Meer. Am frühen Abend kippte die Bohr- und Wohninsel »Alexander L. Kielland« im Ekofisk-Feld um und begrub 123 Ölarbeiter.

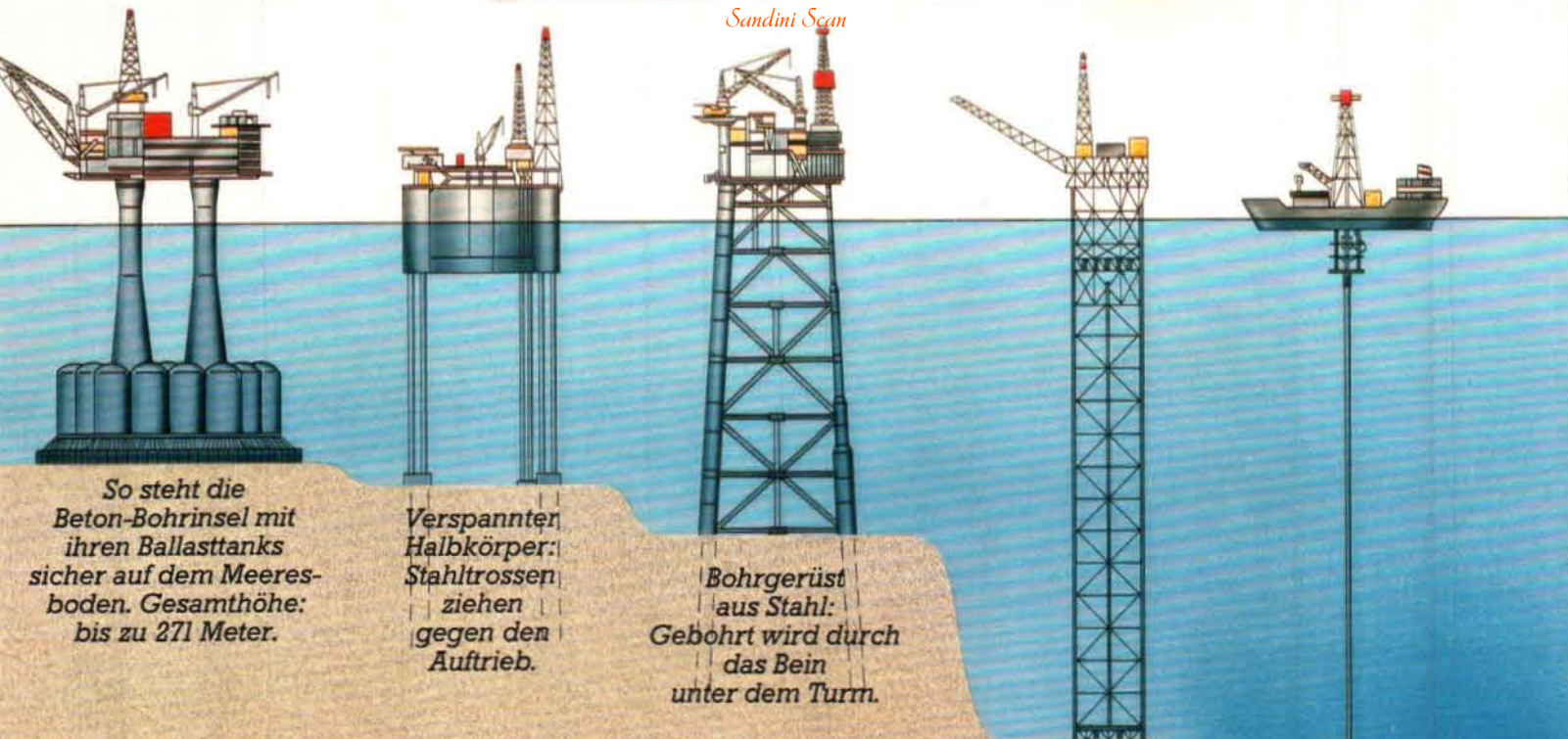
War es menschliches Versagen, wurde die Gewalt von Wind und Wellen unterschätzt, waren Konstruktionsfehler die Ursache der Katastrophe? Diese Fragen stellten sich nicht nur die Angehörigen der Toten und Überlebenden, sie wurden auch in den

Auf 300 Seiten wird in diesem Bericht akribisch versucht, den Hergang des Unfalls zu rekonstruieren und die Ursachen zu ermitteln. Danach war durch Materialermüdung eine Querstrebe der Plattform unter Wasser gebrochen. Aber dieser Bruch war bereits, so glauben die Fachleute, auf der französischen Werft »programmiert« gewesen. Denn beim Anbringen eines sogenannten Hydrophons, mit dessen Hilfe die verschiebbare Stahlinsel am Meeresboden verankert wird, war beim Bohren eines 33 Zentimeter großen Lochs ein Riß entstanden, der unbemerkt blieb.

Loch und Riß führten zu Spannungsverlagerungen im Metall. Folge: Der Riß verlängerte sich. Ein zweiter Riß schwächte die Verstrebung ein weiteres Mal. Die Tragödie im Ekofisk-Feld begann, als die Querstrebe riß. Einer der fünf Pfeiler, die Stütze D, hatte keinen Halt mehr und wurde durch die Kraft der anrollenden Wellen einfach abgeknickt und brach durch.

Das war der Tragödie erster Akt. Wären alle Sicherheitseinrichtungen intakt gewesen, wären auch die Luken geschlossen worden, und hätten sie nicht aus Bequemlichkeit immer offen gestanden, dann hätte sich die Plattform – zwar mit heftiger Schräglage, aber doch wesentlich längere Zeit – schwimmend im Wasser gehalten. Aber die Luken waren nicht dicht,





Wasser konnte einströmen, die Insel kippte kopfüber ins Meer.

Das Kippen wiederum wurde beschleunigt, weil die ehemalige Bohr- und Förderplattform umgebaut worden war. Sie diente als Hotelinsel, mit mehrstöckigem Aufbau von zehn Metern Höhe. Um Kosten zu sparen und weil die Insel später wieder auf Ölsuche gehen sollte, hatte man den knapp hundert Meter hohen Bohrturm einfach stehengelassen, eine Nachlässigkeit, die sich negativ auf die Stabilität und das Gleichgewicht der Insel auswirkte.

Das sind die wichtigsten Anmerkungen des Untersuchungsberichts der norwegischen Regierung – ein Dokument, das gespickt ist mit vernichtender Kritik an den Betreibern der Plattform »Alexander L. Kielland«.

Aber Katastrophen werden schnell verdrängt. Knapp zwei Jahre später jedoch erreichte eine weitere Hiobsbotschaft die Ölbohrer auf See. Die größte Bohrinsel der Welt, die »Ocean Ranger«, sank am 15. Februar dieses Jahres 175 Meilen östlich von Neufundland. Dramatische Rettungsaktionen waren hier nicht mehr nötig. In Minutenschnelle muß diese Insel gekentert und untergegangen sein. Augenzeugen gibt es keine, überlebt hat von den 84 Menschen an Bord niemand.

Da stellt sich natürlich die Frage: Ist etwas faul an diesen stählernen Riesen? Sicherlich keine einfache Frage, denn über 4000 Ölplattformen stehen oder schwimmen weltweit im Wasser. Aber in den 86 Jahren, seit zum ersten Mal, nur wenige Meter von der kali-

fornischen Küste entfernt, Bohrgerüste aus Stahl und Eisen ins Meer gestellt wurden, hat sich vieles geändert. Vor allen Dingen mußten sich die Ölbohrer in immer tieferes Wasser vorwagen, um den schier unersättlichen Oldurst der Welt zu stillen.

Bohrinseln im Wasser sind völlig unproblematisch – denkt man an die Türme, die im Golf von Mexiko oder vor der Küste Venezuelas stehen. Hier ist das Wasser seicht und ruhig. Bis zu einer Wassertiefe von 60 Metern kann man den Bohrmeißel von dem auf dem Meeresboden festverankerten Turm absenken. Schwieriger wird's, wenn das Wasser tiefer ist.

Jahrzehntelang trauten sich die Ölsucher nicht in tiefere Regionen. Sie brauchten es auch nicht, denn das flüssige Gold sprudelte billig und im Überfluß in den arabischen Ländern. Nach dem ersten Ölpreisschock 1973 verstärkten die Firmen ihre Suche in tieferen Gewässern, weiter weg vom sicheren Land, weil die Industrienationen unabhängiger von Importen werden wollten und weil durch die Preisexplosion sich der Einsatz auch zu lohnen begann. Die Folge war ein ganz neuer Typ von Bohrinsel.

Auf schottischen Werften entstanden gewaltige Stahlgerüste, nicht unähnlich dem Eiffelturm, nur daß diese Gerüste oben nicht in einer Spitze enden, sondern eine riesige Arbeitsbühne tragen. Als stählerne Flöße wurden diese Ungetüme ins Meer zur Bohrstelle geschleppt und geflutet. Dann kippten sie langsam auf den Meeresgrund.

Diese Bohrgerüste sind so kon-



Querschnitt durch eine Bohr-  
stelle.  
Wassertiefe:  
etwa 150 Meter.  
Länge des Bohr-  
gestänges:  
sieben Kilometer  
und mehr.

Arbeiter beim  
Auseinander-  
schrauben des  
Bohrgestänges:  
notwendig,  
um den Meißel  
auszuwechseln.



## Bohrinsel: Knochenarbeit rund um die Uhr



Auswechseln eines Bohr-  
meißels für weiches Gestein.  
Er hat drehbare Zahnkränze.

Mit Diamanten übersäter Bohr-  
meißel für härteres Felsge-  
stein. Durchmesser: 20 cm.



struiert, daß sie schwimmfähig sind. Jedenfalls haben sie genügend Auftrieb, um sie an immer neue Standorte flößen zu können. Mit Stahltrossen werden sie bis zu 300 Meter tief am Meeresboden verankert.

In völlig anderer Bauweise als diese Gitterkonstruktion sind die mobilen »Jack-up riggs« zusammengeschnitten. Drei oder vier Pfeiler werden in den Meeresboden gerammt. An ihnen kann die Plattform je nach Wasserhöhe höher oder tiefer »gefahren« werden. Schienen und Zahn-  
räder ermöglichen das. Aber auch dieser Bohrinsel-Typ ist, ähnlich wie die amerikanischen Vorbilder, nur für seichte Gewässer geeignet. Seicht heißt bis zu 60 Meter Tiefe.

Völlig neue Wege beim Bau von Bohrplattformen gingen die Konstrukteure, als sie auf die langen, am Boden verankerten Stelzen verzichteten und schwimmende Plattformen aufs Reißbrett legten. Zwar ragen immer noch Beine ins Wasser, aber sie berühren den Grund nicht mehr. Die Beine sind nur noch rund dreißig Meter lang, dafür aber 20 Meter dick. Diese Ausmaße haben den Vorteil, daß die Konstruktion wesentlich handlicher ist.

Der Clou aber kommt noch: An den Füßen sind Schwimmkörper angeschweißt, Pontons, die, mit Luft gefüllt, für den nötigen Auftrieb sorgen und, mit Ballast geflutet, eine stabile Lage über dem Bohrloch garantieren. Diese Schwimmkörper können verschieden geformt sein. Bei der »Alexander L. Kielland« waren sie rund, an jedes der fünf Beine war sein eigener semmelförmiger Stahlkörper angeschweißt worden. Andere Typen besitzen zwei zigarrenförmige Stahlkörper, die parallel liegen und zwei Beine miteinander verbinden.

Für den Transport über See ragen die sogenannten Halbtaucher weit aus dem Wasser und werden von buligen Hochseeschleppern zu ihrem Einsatzort gezogen. Dort wird geflutet, bis die Plattform rund 30 Meter über dem Wasserspiegel liegt: eine Vorsichtsmaßregel, um selbst von den höchsten Wellen nicht erreicht zu werden. Beim Bohren liegt die Insel tiefer im Wasser. Anker sorgen dafür, daß sie exakt ihre Lage behält und nicht abdriftet.

Gleichzeitig kann sich die Insel durch Anspannen und Lockern der verschiedenen Ankertrossen um einige Meter von ihrem Platz bewegen, ohne daß die Anker gelichtet werden müssen. Dies führt natürlich zu besonderen Belastungen der Gitterkonstruktion. So kann ein verspanntes Stahlseil entlastet werden, während ein anderes mehr Zug verspürt.

Weil sich der Schwerpunkt bei den Halbtauchern unter Wasser befindet, liegt die Bohrinsel auch bei schwerer See ruhig. Seekrank kann man hier nicht werden. Aber gebaut wurden die Plattformen nicht, um den Bohrmannschaften die Seekrankheit zu ersparen. Die Inseln folgten dem Run nach Öl ins tiefere Wasser. Bis zu 500 Meter Seetiefe werden mit den Halbtauchern überwunden.

Um sich einmal ein Bild von der Größe dieser Halbtaucher zu machen, muß man wissen, daß zum Beispiel die »Ocean Ranger« mit einer Länge von 122 Metern und einer Breite von 80 Metern größer als ein Fußballfeld war und mehrere Milliarden Dollar gekostet hat.

Ins Nachdenken sind die Fachleute nach dem Verlust der »Ocean Ranger« auch deshalb gekommen, weil wahrscheinlich zum Zeitpunkt des Unglücks, kurz nachdem der Funkkontakt abgebrochen war, ein Sturm mit 150 Kilometern pro Stunde über den Atlantik fegte, der die Wellen 15 Meter hochtrieb – die Bohrinsel aber Orkangeschwindigkeiten von 213 km/h und Wellen von 35 Metern standhalten sollte.

Hinzu kommt, daß die Techniker manchmal nicht genügend Phantasie haben, um sich vorzustellen, daß auch extremere Situationen auftreten können als ihre vorausgerechneten. So geschehen auf der »Alexander L. Kielland«, als das bis zu einem Krängungswinkel (Krängung: gefährliche Schräglage) von 22 Grad reichende Meßgerät plötzlich mit 35 Grad fertig werden mußte und prompt versagte.

Das Unglück dieses Halbtauchers

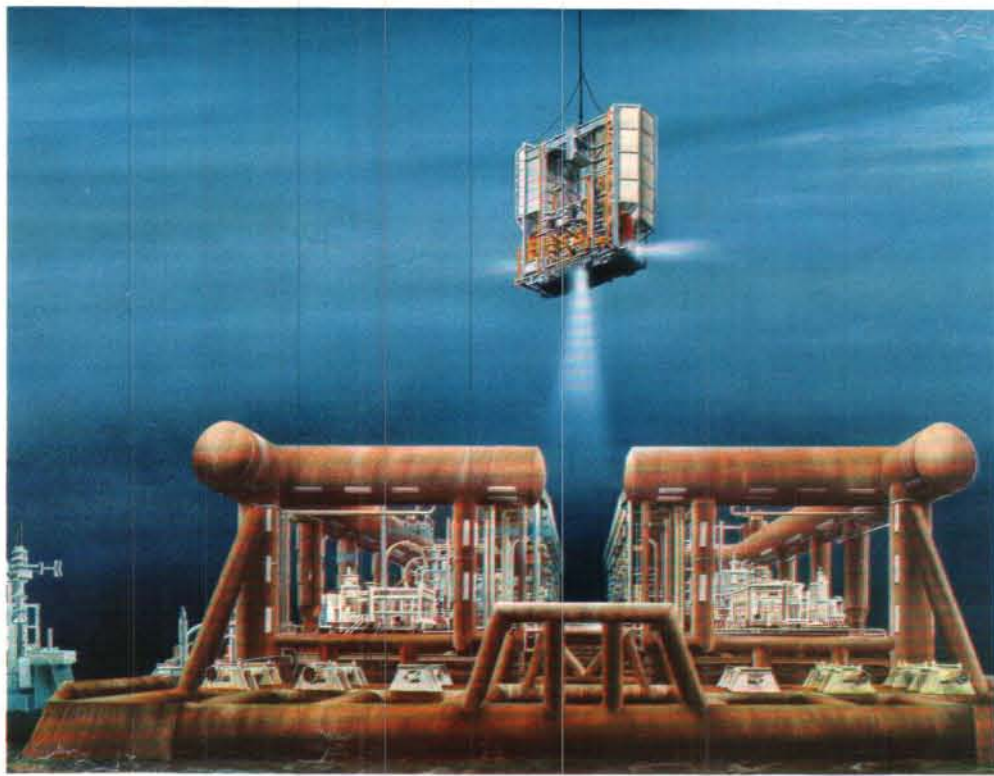
Bitte lesen Sie weiter auf Seite 96



## Bohrinseln: Wie sie in Zukunft aussehen könnten

Das rechte Bild zeigt eine automatische Produktionsplattform in 300 Meter Tiefe. Von einem Schiff wird gerade ein Reparaturmodul abgesenkt. Diese Produktionsautomaten liegen über einer Ölquelle. Von ihnen führen Leitungen zu einem zentralen Förderturm aus Beton, durch den das Rohöl an die Wasseroberfläche gepumpt wird.

Diese gezeichnete Zukunftsvision ist eine Bohrplattform aus Eis im Nordmeer. Gehalten von einem stählernen Ring, sind riesige, mit Sägemehl vermischte Eisblöcke zu einer Insel zusammengepackt, die am Boden festfrieren kann. Auf ihr können Hubschrauber landen und Fördertürme errichtet werden. Unter der Plexiglas-kuppel leben die Arbeiter der Eisinsel.



ist restlos aufgeklärt, die Ursachen der »Ocean Ranger«-Katastrophe liegen noch im Dunkeln. Bühnenstars und Artisten pflegen nach Mißerfolgen zu sagen: »The show must go on.« Dem stehen die Ölbohrer in nichts nach: »Keep on drilling«, heißt es bei ihnen.

So werden trotz der Katastrophen die Diamantmeißel immer tiefer in den Meeresboden gesenkt, um nach dem Öl, das unsere Wirtschaft schmiert, zu bohren. Denn die Zukunft des Öls liegt im Wasser.

Heute schon stammt bereits ein

Fünftel der rund drei Milliarden Tonnen Rohöl, die jährlich weltweit gefördert werden, aus dem Boden der Meere. Aber erst acht Prozent des Kontinentalsockels sind auf ölhaltige Schichten untersucht worden; dabei wurden 25 000 Bohrungen »niedergebracht«. Allein in der Nordsee arbeiten rund 50 000 Menschen am und ums Öl – und diese Zahlen werden noch steigen. Trotzdem wird das Öl nicht billiger werden, denn die Erschließung und Förderung erfordern immer mehr Aufwand und Kosten.

Da ist zum Beispiel die norwegi-

sche Plattform »Statfjord B«. Sie ist die größte und zugleich auch teuerste Bohrinsel der Welt. Rund 4,3 Milliarden Mark hat dieser Koloß aus Beton gekostet. Ja, Beton: »Statfjord B« ist aus einem ganz anderen Material, als man es sonst für Bohrinseln gewohnt ist. Beton hat nämlich gegenüber Stahl und Eisen gewichtige Vorteile. Der Hauptvorteil liegt darin, daß Beton nicht rosten kann. Man rechnet, daß solche Plattformen 60 Jahre und mehr im Einsatz sein können.

Beton ist außerdem leicht zu verarbeiten, und daher kann man mit ihm Formen bauen, die man aus Stahl so nicht konstruieren kann. Die Plattform »Statfjord«, der Typ C wird gerade gegossen, besteht aus mehreren Teilen. Auffallend die vier schlanken Säulen, die wie Fernsehtürme aussehen und auch so hoch sind. Vom Scheitel bis zur Sohle mißt der 800 000 Tonnen-Koloß 271 Meter, davon stehen 145 Meter im Wasser.

Der Fuß muß sicher und breit auf dem Grund ruhen. Dafür sorgen 24 abgeschlossene, wabenförmig angeordnete Betondome, die alle eine Höhe von 64 Metern haben, bei einem Durchmesser von 23 Metern. Sie können wasserdicht abgeschlossen werden und nehmen den Ballast auf. Bei einer reinen Bohrplattform ist es Wasser, bei einer Produktionsplattform wird in diesen Tanks auch Rohöl gespeichert, das direkt aus der Quelle kommt. Eine Viertelmillion Tonnen flüssigen Golds findet in dieser Öl-Ka-

Bitte lesen Sie weiter auf Seite 98



**P.M.**Peter Moosleitners interessantes  
**Magazin**

3/1984 17. Februar 1984

DM 5,30



*Modell des Trans-  
atmosphären-Flugzeugs,  
das 80 Kilometer hoch  
steigen wird und  
30fache Schall-  
geschwindigkeit  
erreichen soll.*

*Dahinter:  
Windkanalversuch  
mit einem Space-  
Shuttle-Modell  
bei 1200 km/h.*

**Magie**

Wie Australiens  
Ureinwohner neue  
Seelenkräfte  
»aus der Erde ziehen«

★

**Gummi**

Das Geheimnis  
der Elastizität

★

**Elektronik**

Wie Tante Emmas  
Registrierkasse zum  
»Supermarkt-  
gehirn« wurde

★

Außerdem:  
Hausschwein, Ikonen,  
Lebensdauer  
bei Mensch und Tier,  
Tauschhandel u.v.a.

**Kühnstes Projekt  
der Luftfahrt:**

# Ein Flugzeug, so schnell wie eine Rakete

**Großer Bericht:  
Geschichte und Zukunft  
des Überschallflugs**



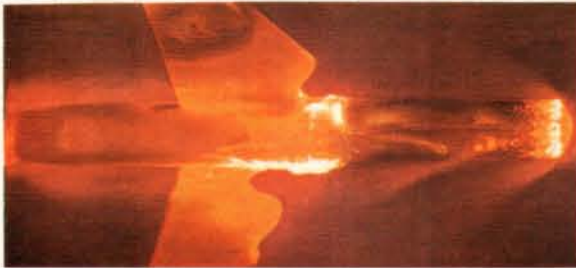
# INHALT

3/1984

## Titelgeschichte

Überschallflug:  
Was man  
schon erreicht  
hat – und in  
welche  
Dimensionen  
man in Zukunft  
vorstoßen will

52



*Hitzetest: Ein Flugzeugmodell aus rostfreiem Stahl schmilzt bei fünffacher Schallgeschwindigkeit.*

## Verpackungstechnik

Die erstaunliche Geschichte  
der Flaschenverschlüsse

30



## Elektronik

Wie die Registrier-  
kassen von heute  
funktionieren

*Diese elektronische  
Kasse kann bis zu  
13000 Preise abfragen.*

36

## Biologie

Warum Menschen und Tiere  
so alt werden, wie sie werden

44

## Völkerkunde

Die geheimnisvollen  
Kräfte der australischen  
Ureinwohner

20

## Wirtschaft und Weltgeschichte

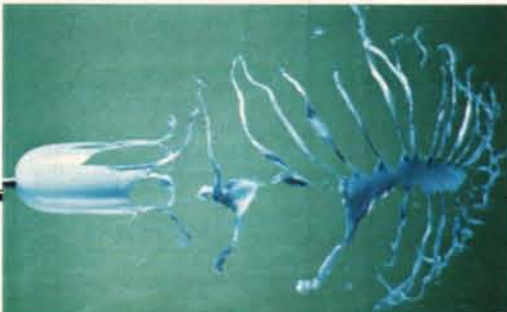
Tauschhandel – die neue  
(alte) Art, ohne Geld Geschäfte  
zu machen

76

## Werkstoffe

Woher die  
Elastizität beim  
Gummi kommt

10



*Zerplatzter  
Luftballon: Warum  
passiert das nicht  
immer, wenn er  
aufgeblasen wird?*

*Typisches  
Ikonenmotiv:  
Maria mit dem  
Kind (16. Jahr-  
hundert).*



## Kunst und Religion

Ikonen: Die Bilder, durch deren  
Geschichte sich Mord und  
Totschlag ziehen

62

## Tierforschung



*Nicht nur fett,  
sondern auch  
hochintelligent:  
Hausschwein  
bei der  
Trüffelsuche.*

Der wichtige Unterschied  
zwischen Wild- und Hausschwein

84

## Mathematik

Wie Planeten und Sternbilder  
zu göttlichen Zahlen wurden

92

## Rubriken

|                   |     |
|-------------------|-----|
| P.M. über P.M.    | 4   |
| Impressum         | 4   |
| P.M.-Kalender     | 6   |
| Frage und Antwort | 8   |
| Ideen             | 34  |
| P.M.-Zitate       | 42  |
| P.M.-Quiz         | 74  |
| P.M.-Rückblende   | 100 |
| Im nächsten Heft  | 106 |



*Projektstudie für ein »Transatmosphäre  
Vehikel (TAV), das zu Beginn  
des nächsten Jahrhunderts gebaut  
werden soll. Die ersten Testflüge  
des Space Shuttle lieferten realistische  
Planungsdaten für die Flugzeug-  
konstrukteure.*

Geschichte und Zukunftschancen des Überschallflugs:

# Ein Flugzeug, so schnell wie eine Rakete



Erst 1947 gelang es, mit Testmaschinen die Schallmauer zu durchbrechen. Heute kann jeder Privatmann in der Concorde mit doppelter Schallgeschwindigkeit über den Atlantik reisen. Was sich amerikanische Flugzeugkonstrukteure jedoch für die Zukunft vorgenommen haben, sprengt alle bisherigen Vorstellungen von einem Überschallflugzeug. Was ist jenseits der Schallmauer alles anders? Wie schnell kann ein Flugzeug überhaupt fliegen?





# Überschall: Pfeilform gegen Stromlinie



**X-1**

**Dieses raketengetriebene Flugzeug durchbrach 1947 die Schallmauer.**

**D**er Traum aller Science-fiction-Autoren: eine Reise in die Vergangenheit. Und so funktioniert das phantastische Gedankenspiel: Man setzt sich in eine Rakete und rast mit Überlichtgeschwindigkeit zu einem anderen Stern. Dort angekommen, baut man riesige Fernrohre auf und blickt zurück zur Erde. Da man bei der Höllenfahrt sogar die Lichtstrahlen hinter sich gelassen hat, kann man vom Reiseziel aus nicht nur seinen eigenen Start beobachten; man sieht sogar Bilder, die schon Jahre zuvor von unserem Planeten abgestrahlt wurden. Die superschnelle Rakete hatte sie eingeholt und war ihnen mit Überlichtgeschwindigkeit vorausgeeilt.

Soweit das Gedankenspiel, das durchaus realistisch wäre, gäbe es nicht die unüberwindliche Barriere, die Albert Einstein in den Formeln seiner Relativitätstheorie beschrieben hat. Die Berechnungen zeigten, daß der Energiebedarf für eine Rakete, die sich der Lichtgeschwindigkeit nähern würde, unvorstellbar groß sein mußte. Bei Lichtgeschwindigkeit wäre die Energiemenge sogar unendlich groß.

Doch nun halten Sie sich fest zu einem Gedankenflug besonderer Art.

Airport »Charles de Gaulle« in Paris. Sie stehen neben der Startbahn und stoßen einen markerschütternden Schrei aus. Dann besteigen Sie das mit heulenden Triebwerken startbereite Überschallverkehrsflugzeug Concorde und gehen mit doppelter Schallgeschwindigkeit auf die Reise.

Drei Stunden später: Landung in New York. Sie kaufen sich eine Zeitung und machen es sich in einem Coffee-Shop bequem. Fast drei Stunden dauert die beschauliche Kaffeepause, dann fährt Ihnen plötzlich ein gewaltiger Schrei in die Knochen. Ihre eigene Stimme, der Schrei vom Pariser Flughafen, hat Sie eingeholt.

Wiederum eine Fiktion? Nein, diesen Versuch könnten Sie tatsächlich machen, wenn Sie über ein genügend lautes Stimmorgan verfügten. Die Concorde



**B-58 Hustler**

**Der mit vier Starfighter-Triebwerken bestückte Deltaflügler (Baujahr 1959) erreichte bereits doppelte Schallgeschwindigkeit.**

**Das Experimentalflugzeug brachte wichtige Erkenntnisse für die Concorde-Konstrukteure.**



**X-15**

**Das Raketenflugzeug schaffte mehr als sechseinhalbfache Schallgeschwindigkeit.**

wäre den Schallwellen, die mit mehr als 1000 Kilometern in der Stunde durch die Luft rasen, mit doppelter Geschwindigkeit vorausgeeilt. Man faßt sich an den Kopf. Gibt es sie doch, die Reise in die »Vergangenheit«?

Machen wir zunächst einmal einen ganz realistischen Zeitsprung zurück in die Ära der Propellerflugzeuge vor mehr als 40 Jahren. Die Schallgeschwindigkeit galt vor vierzig, fünfzig Jahren als Traumziel der Flugzeugkonstrukteure. Man hatte nämlich erkannt: Je schneller man fliegen wollte, um so schneller mußte man die Propeller drehen lassen. Überschritt dabei die Propellerspitze eine bestimmte Geschwindigkeit, spielte der Luftstrom verrückt. Er verwirbelte und wurde von plötzlich auftretenden Druckstößen in Fetzen gerissen.

Die Jagdflieger des Zweiten Weltkriegs in ihren schnellen »Me 109« und »Spitfire« aber entdeckten sehr bald, wie man den unerklärlichen Leistungsabfall des Propellers wettmachen konnte. Sie stiegen vor einem Angriff in große Höhen



**BAC 221**



**SR-71 Blackbird**

**Strategischer Aufklärer für Langstreckenflüge mit über dreifacher Schallgeschwindigkeit.**

und stießen dann die Maschine im Sturzflug auf den Gegner.

Dabei endete ein solches Manöver nicht selten mit dem Absturz der angreifenden Maschine. Nicht der Propeller spielte auf einmal verrückt, sondern das ganze Flugzeug. Es wurde wie von einer Riesenfaust geschüttelt und begann sich immer stärker aufzubäumen. Nur mühsam konnte der Pilot den rüttelnden Steuerknüppel halten und die Maschine geriet trotz funktionierender Leitwerke außer Kontrolle. Es war, als hätten die Gesetze der Aerodynamik ihre Wirkung verloren.

Daß dies tatsächlich so war, wurde den



Flugzeugkonstrukteuren klar, als sie mit den Hochgeschwindigkeitsflügen der ersten Düsen- und Raketenflugzeuge begannen. Noch während des Kriegs waren in Deutschland die ersten Flugzeuge ohne Propeller erprobt worden: der Düsenjäger Me 262 und das Raketenflugzeug Me 163. Hatte man die Geschwindigkeit von 1000 km/h überschritten und näherte man sich der Schallgeschwindigkeit (in Bodennähe: 1223 km/h), begannen auch diese windschnittigen Maschinen zu rütteln, als wären sie bizarre Doppeldecker, an deren Tragflächen gewaltige Sturmböen zertraten.

Für die Testpiloten waren diese Hochgeschwindigkeitsflüge – die Me 163 erreichte über 1000 km/h – ein unkalkulierbares Risiko, denn es ließ sich nie voraussagen, wie sich die Maschine im Sturzflug verhalten würde.

Kalifornien, 14. Oktober 1947: Ein viermotoriger Superfortress-Bomber startet zu einem Höhenflug über den Murdoc Dry Lake. Unter seinem Bauch hängt ein raketenähnlicher Flugkörper mit kurzen Stummelflügeln. Es ist das neue Hochgeschwindigkeitsflugzeug X-1 der Firma Bell, mit dem der Pilot Charles Yeager, der in der engen Kabine Blut und Wasser schwitzt, die Schallmauer durchbrechen soll.

In knapp 9000 Meter Höhe beginnt der Rekordversuch: Die X-1 wird von der fliegenden »Superfestung« abgeklinkt und stößt in schräger Flugbahn nach unten. Dann zündet Yeager die vier Raketentriebwerke und steigt mit der Maschine auf 12800 Meter. Dort beschleunigt er auf die Geschwindigkeit von über 1100 km/h und überwindet die Schallgrenze.

Natürlich wissen auch die Konstrukteure der X-1, daß sie sich nur mit einigen Tricks über die Schallmauer

hinweggemogelt hatten: Man hatte die Maschine mit Raketentriebwerken bestückt, um eine Flughöhe von knapp 13000 Metern zu erreichen. Luftsaugende Düsentriebwerke hätten in der dünnen Höhenluft nicht die benötigte Schubkraft erreicht.

Warum man aber die Rekordflüge in dieser Höhe absolvierte, war Trick Nummer zwei. Die Schallgeschwindigkeit, die in Bodennähe 1223 km/h beträgt, sinkt in der dünneren Luft bei 13000 Meter auf 1062 km/h. Je höher man also stieg, um so früher war die Schallmauer zu durchbrechen.

Ohne Tricks schien es also nicht zu gehen. Auch der britische Testpilot John Derry, der am 9. September 1948 mit dem Düsenflugzeug De Havilland D.H.-108 die Schallgrenze überwand, mußte bei seinem halsbrecherischen Rekordflug auf den alten Jagdfliegertrick zurückgreifen. Er schraubte seine Maschine auf 12200



## Concorde

*Fliegt im Liniendienst zwischen Europa und New York mit doppelter Schallgeschwindigkeit.*

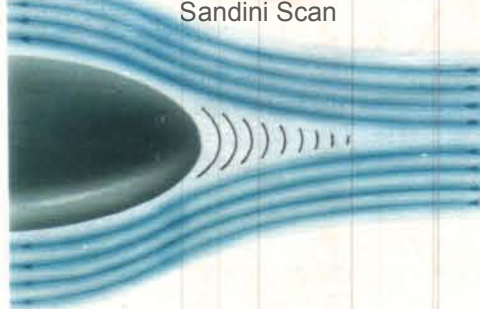


## Space Shuttle

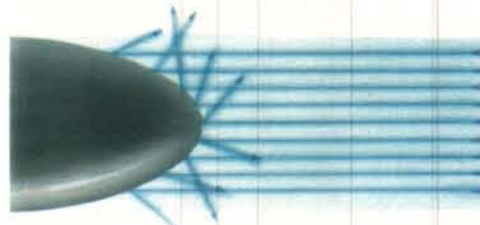
*Der Raumgleiter erreichte die bisher höchste Geschwindigkeit in der Luft – 24fache Schallgeschwindigkeit beim Wiedereintauchen in die Atmosphäre.*



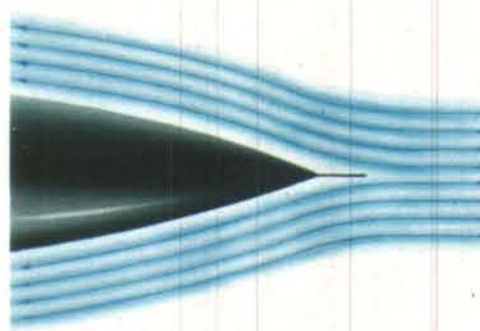
# Überschall: Was ab Mach 1 anders ist



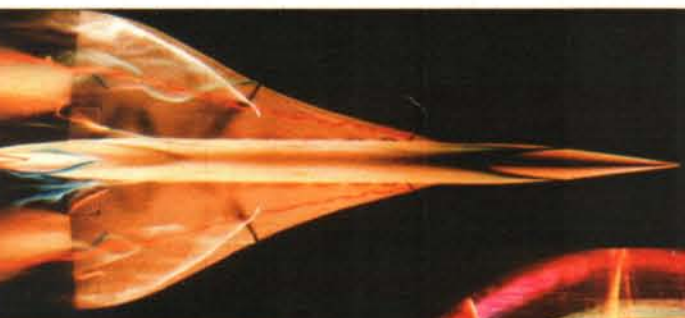
**Unterschall: Der Rumpfspitze eilen Druckwellen voraus. Sie veranlassen die anströmenden Luftpartikel auszuweichen.**



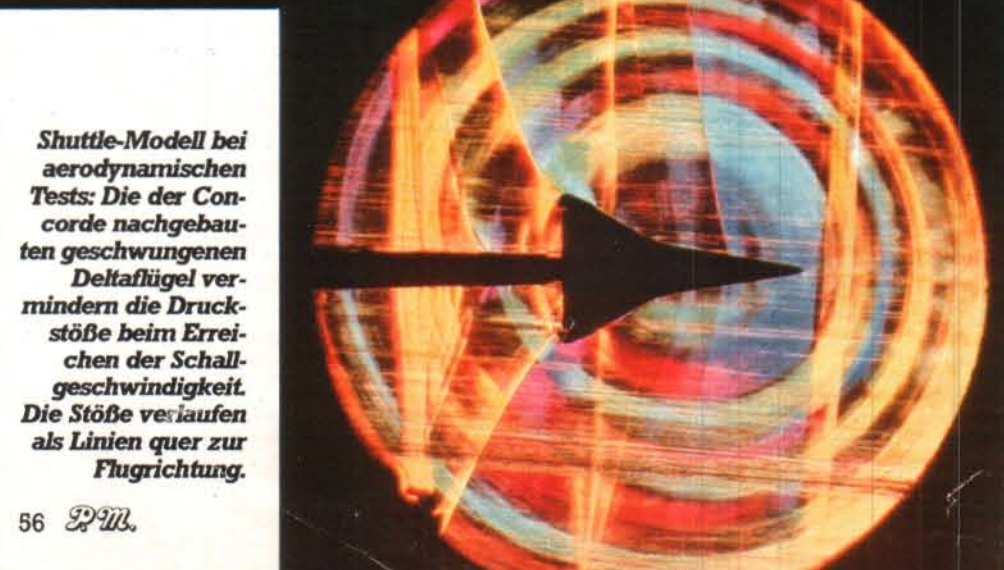
**Schallgeschwindigkeit: Die Druckwellen können die Maschine nicht mehr überholen. Die Luft prallt gegen den Rumpf.**



**Optimale Überschallform: Die Rumpfspitze durchbohrt die »Mauer« der heranrasenden Luftmoleküle.**



**Concorde-Modell im Windkanal: Die geschwungene und weit nach vorn gezogene Flügelvorderkante erzeugt »Wirbelzöpfe«, die beim Langsamflug den Auftrieb verstärken.**



**Shuttle-Modell bei aerodynamischen Tests: Die der Concorde nachgebauten geschwungenen Deltaflügel vermindern die Druckstöße beim Erreichen der Schallgeschwindigkeit. Die Stöße verlaufen als Linien quer zur Flugrichtung.**

stand. Was sollte ein akustisches Phänomen mit der Aerodynamik eines Flugzeugs zu tun haben?

Die Untersuchungen der Forscher brachten eine Überraschung: Auch bei Flugzeugen, die weit unterhalb der Schallgrenze fliegen, spielt die Ausbreitung des Schalls eine wichtige Rolle. Betrachten wir einmal die dicke Rumpfnase eines normalen Passagierflugzeugs, das mit Unterschall auf die Reise geht. Partikel aus dem Luftstrom prallen an die Flugzeugnase und erzeugen leichte Druckstöße. Diese breiten sich mit Schallgeschwindigkeit nach allen Richtungen aus und eilen auch dem langsameren Flugzeug voraus.

Die Druckwellen verpuffen jedoch nicht vor der Maschine, sondern bauen ein Druckpolster auf, das die Luftmoleküle schon mehrere Meter vor dem Hindernis veranlaßt auszuweichen. Die Luftmoleküle werden »vorgewarnt« und gleiten sanft an der Flugzeugnase vorbei.

Nun zur kritischen Phase: Nähert sich das Flugzeug der Schallgeschwindigkeit, wird der Vorsprung der vorauseilenden Druckwellen immer kleiner. Die Vorwarnzeit für die Luftmoleküle ist extrem kurz, sodaß ihnen nicht mehr genügend Zeit bleibt, sich in idealer Stromlinienform um den Flugzeugrumpf zu schmiegen. Würde die Maschine gar Schallgeschwindigkeit erreichen, wäre das Schicksal eines normalen Verkehrsflugzeugs schnell besiegelt. Da die Druckwellen und das Flugzeug mit gleicher Geschwindigkeit vorwärtsrasten, gäbe es für die Luftmoleküle keine Vorwarnung mehr. Sie würden mit voller Wucht gegen die Maschine knallen, die sich wie ein Rammbock ihren Weg bahnt.

Die Lehre, die die Flugzeugbauer daraus zogen: Eine Überschallmaschine mußte die heranrasenden Luftpartikel, die keine Zeit mehr für ein Ausweichmanöver hatten, wie ein scharfes Beil durchtrennen. Der Rumpf der Maschine durfte nicht stromlinienförmig gebaut werden, sondern schlank und spitz wie ein Pfeil, die Tragflächen dünn, mit messerscharfen Vorderkanten. Je glatter der Flugzeugrumpf die Luft durchschnitt, um so sanfter wurde sie zusammengedrückt. Die gefürchteten explosionsartigen Druckstöße, die die ersten falsch gebauten Versuchsflugzeuge außer Kontrolle gebracht oder sogar in der Luft zerfetzt hatten, wurden auf ein ungefährliches Maß reduziert.

Blättert man in den Forschungsberichten und Projektstudien der Flugzeugbauer aus den fünfziger Jahren, fühlt man sich unwillkürlich an einen Science-fiction-Roman erinnert. Zu einer Zeit, als man gerade erst die physikalischen Phänomene des Überschallflugs an einigen kleinen Versuchsflugzeugen erforscht hatte, begann man bereits mit dem ersten Entwurf eines mit doppelter Schallge-



schwindigkeit fliegenden Passagierflugzeugs.

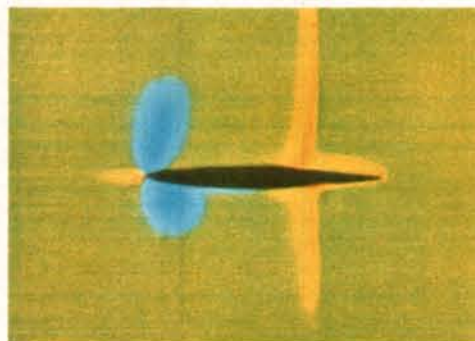
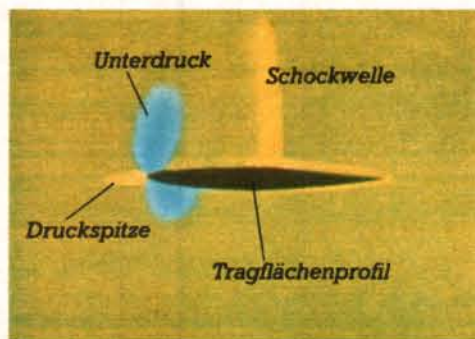
Nur drei Forschungsflugzeuge schafften damals eine Spitzengeschwindigkeit von Mach 2, und selbst der erste einsatzfähige Mach-2-Düsenjäger der Welt, der Starfighter, konnte dieses Spitzentempo, das der Geschwindigkeit einer Gewehrkegel entspricht, nur für ganz kurze Zeit durchhalten. (Die Mach-Zahl, benannt nach dem österreichischen Physiker Ernst Mach, gilt als Einheit für die Schallgeschwindigkeit. Mach 1 bedeutet einfache, Mach 2 doppelte Schallgeschwindigkeit.)

Ein erstes Windkanalmodell für ein Mach-2-Verkehrsflugzeug, ausgerüstet mit kurzen dünnen Stummelflügeln ähnlich wie beim Starfighter, brachte dann auch ein ernüchterndes Ergebnis: Nur ein einziges Gewichtsprozent wäre für die Nutzlast übriggeblieben, sodaß eine 135 Tonnen schwere Maschine ganze 15 Passagiere über den Atlantik hätte befördern können.

Dann probierte man es mit einem neuen Flügeltyp, der sich bei Jagdflugzeugen, zum Beispiel der Mirage, durchzusetzen begann, dem dreiecksförmigen Deltaflügel. Auch hier zeigte sich, daß man mit der Idee, ein militärisches Überschallflugzeug im riesigen Maßstab zu vergrößern, nicht weiterkam.

Der einzige Weg, der zum Ziel führen konnte, war die Entwicklung eines völlig neuen Flugzeugs, bei dem die Gesetze des Überschallflugs bis ins kleinste Detail erforscht werden mußten. Die Erkenntnisse aus der militärischen Forschung waren bei weitem nicht ausreichend. Zwar übernahm man das Prinzip des Deltaflügels, aber man mußte die Proportionen völlig verändern. Um den Widerstandskräften beim Hochgeschwindigkeitsflug aus dem Weg zu gehen, benötigte man eine möglichst geringe Spannweite; um den erforderlichen Auftrieb zu erzeugen, eine möglichst große Flügelfläche. Das bedeutete: Man mußte die Tragflächen am Rumpf weit nach vorn ziehen.

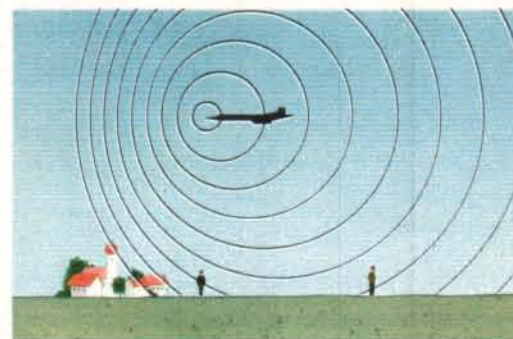
Doch da trat bereits die erste Schwierigkeit auf: Im Langsamflug bei Start und Landung mußte man die Nase einer sol-



**Die Schockwelle:** Sie entsteht bereits bei Unterschall, da die Luft über dem Flügel stark beschleunigt wird (oben). Bei Mach 1 vergrößert sie sich und wächst auch nach unten (Mitte). Jenseits der Schallmauer kippt sie nach hinten (unten).

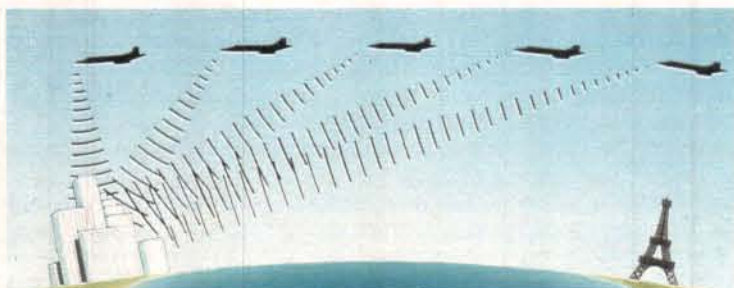
chen Maschine extrem hochziehen, damit der schlanke Deltaflügel noch genügend Auftrieb erzeugte. Dabei entstanden an den Flügelvorderkanten störende Strömungswirbel, die das ganze Flugzeug unkontrollierbar machten.

Der in England arbeitende deutsche Aerodynamiker Dr. Küchemann hatte eine Idee. Vielleicht könnte man durch eine s-förmig geschwungene Vorderkan-

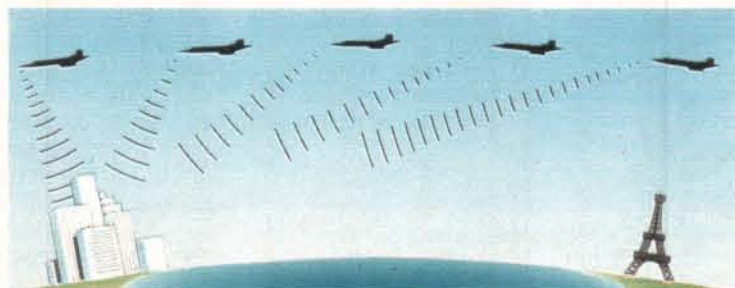


**Die Schallwellen:** Bei Unterschall eilen sie dem Flugzeug noch voraus (oben). Am Boden hört man ein gleichmäßiges Brummen. Mach 1: Flugzeug und Schall auf gleicher Front (Mitte). Die Schallfront trifft einen am Boden stehenden Beobachter als Überschallknall. Mach 2: Die Geräusche werden zu einer trichterförmigen Schallschleppe gebündelt. Der Überschallknall trifft den Beobachter erst, wenn ihn die Vorderfront der Schallschleppe erreicht.

te die unvermeidlichen Wirbelzonen des Deltaflügels absichtlich verstärken und so »dressieren«, daß sie die Strömung nicht mehr negativ sondern positiv beein-



**Bei Schallgeschwindigkeit nimmt eine Concorde theoretisch den gesamten Lärm von Paris bis New York mit. Er käme dort als Donnerschlag an. Tatsächlich bündeln sich im Überschallknall jeweils nur die Geräusche der letzten 30 Sekunden.**



**Gedankenexperiment mit Schallwellen, die sich nicht abschwächen: Fliegt die Concorde mit doppelter Schallgeschwindigkeit nach New York, hört man dort drei Stunden nach der Landung den Start in Paris. Der Schall braucht die doppelte Flugzeit.**



# Überschall: Die Hitzebarriere

flußten. Viele seiner Fachkollegen waren skeptisch, denn nach den Regeln der klassischen Aerodynamik mußte man alles vermeiden, was eine gesunde Strömung durcheinanderbringt.

Das erste Windkanalmodell der neuen Flügelform brachte jedoch ein aufsehenerregendes Ergebnis: Der neuartige Deltaflügel mit seinen elegant nach vorn geschwungenen Kanten erzeugte genau kontrollierbare stabile Wirbelschichten. Sie vergrößerten den Auftrieb stärker als erwartet. Die Wissenschaftler waren nun davon überzeugt, daß die Maschine beim Landen mit 300 km/h ebenso sicher anschweben würde wie ein normales Passagierflugzeug, das beim Aufsetzen etwa 250 km/h schnell ist.

Um es vorwegzunehmen: Als am 2. März 1969 das erste Concorde-Versuchsflugzeug seinen Jungfernflug absolvierte, bestätigten sich die Ergebnisse der Windkanalversuche. Die Maschine konnte im Landeanflug sicher aufsetzen. Und beim ersten Mach-2-Flug am 4. November 1970 zeigte sich auch, daß man mit der geschwungenen Flügelvorderkante den optimalen aerodynamischen Kompromiß für den Langsam- und Hochgeschwindigkeitsflug gefunden hatte.

Für die Aerodynamiker in aller Welt war dieses Concorde-Prinzip der »kontrollierten Strömungsablösung« etwas völlig Neues. Doch schon bald begann man die neuen Erkenntnisse für andere Projekte zu nutzen. Zum Beispiel wurden die amerikanischen Jagdflugzeuge F-16 und F-18 mit ihren eigenartig nach vorn gezogenen Flügelwurzeln so gebaut, daß gezielt erzeugte Wirbelzöpfe den Auftrieb selbst bei halsbrecherischen Flugmanövern noch stabil halten.

Jüngstes Beispiel für die revolutionäre Bedeutung der Concorde-Aerodynamik ist der Space Shuttle, der nach einem superschnellen Landeanflug mit mehrfacher Schallgeschwindigkeit durch die dünne Atmosphäre der oberen Luftschichten mit seinen s-förmig geschwungenen Tragflächen sicher auf der Rollbahn einschwebt. Aufsetzgeschwindigkeit: 350 km/h.

Doch nicht nur bei der Flügelkonstruktion hatten sich die Concorde-Bauer in ein unerforschtes Gebiet wagen müssen. Beim Durchbrechen der Schallmauer zeigte sich, daß die veränderte Aerodynamik die am Flügel wirkenden Auftriebskräfte bei einem so riesigen Flugzeug um etwa eineinhalb Meter nach hinten verschob. Folge: Die Maschine

kippt nach unten. Will man nun aber dieses Ungleichgewicht mit den Rudern ausgleichen, muß man sie so stark einschlagen, daß sie wie Bremsklappen wirken.

Die Lösung des Problems: Man baute zu den Flügeltanks zusätzlich in das Heck einen 13000 Liter fassenden Trimm-tank. Sobald sich die Concorde der Schallgeschwindigkeit nähert, wird aus dem vorderen Tank soviel Treibstoff nach hinten gepumpt, daß der Schwerpunkt der Maschine mit dem Zentrum des Auftriebs übereinstimmt.

Wie genau der Schwerpunkt der Concorde eingehalten werden muß, zeigt sich schon beim Start: Ein computergesteuertes Pumpensystem verteilt den Treibstoff in den fast 120 000 Liter fassenden Flügel- und Rumpftanks. Würde der Schwerpunkt nur um 30 Zentimeter zu weit vorne liegen, müßten 40 der 100 Passagiere aussteigen, weil sonst beim Start der Widerstand der Trimmruder viel zu groß wäre.

Wie weit die Concorde ihrer Zeit voraus war, zeigt sich auch daran, daß es selbst heute nur zwei Militärflugzeuge gibt, die im konstanten Hochgeschwin-

denkwaffen, Satelliten und Kernkraftwerken unentbehrlich geworden ist, war ein Nebenprodukt der Concorde-Forschung. Mehr als 40 neue Werkstoffe, die heute zum Standard im Flugzeugbau gehören, wurden in der Concorde erprobt.

Mit welcher höllischen Temperaturen man es aber bei künftigen Flugzeugprojekten zu tun haben wird, zeigen die Shuttle-Flüge. Ein Flugzeug heizt sich während eines Mach-3-Flugs bis über 300 Grad Celsius auf. Bei Mach 5 steigt die Spitzentemperatur an den kritischen Flugzeugteilen sogar auf 1600 Grad. Eine Hitzebelastung, bei der selbst rostfreier Stahl wie Butter zerfließt.

Was noch vor wenigen Jahren unvorstellbar war: Der Space Shuttle, der aus seiner Erdumlaufbahn mit etwa 28 000 km/h in die Erdatmosphäre eintaucht, übersteht mit seiner Spezialbeplankung aus Keramikschichten Spitzentemperaturen von 1650 Grad. Der Werkstoff, so leicht wie Balsaholz, strahlt rund 90 Prozent der Reibungshitze sofort ab. Weitere 5 Prozent werden in den Schichten gespeichert, und nur 5 Prozent müssen durch ein Kühlsystem abgebaut werden.



**Größenvergleich: Ganz oben das Projekt DC-AST für dreihundert Passagiere, das nie verwirklicht wurde. Darunter die Concorde mit 62 Metern Länge. Der bullige Shuttle bringt es immerhin auf 37 Meter, die russische MiG-25 auf 24 Meter Länge. Das künftige Transatmosphären-Flugzeug soll etwa so groß werden wie der Shuttle.**

digkeitsflug schneller sind: der strategische Aufklärer Lockheed SR-71 »Blackbird« und die russische »MiG-25«. Alle anderen Maschinen können nur kurzzeitig diese Geschwindigkeit erreichen.

Beim Langstreckenflug jenseits der Mach-2-Grenze zeigt sich nämlich, daß es mit der Lösung der aerodynamischen Probleme noch lange nicht getan ist. Man kommt in den kritischen Hochtemperaturbereich. Allein die bei Mach 2 auftretende Reibungsenergie heizt die Oberfläche der Concorde bis zu 130 Grad Celsius auf, obgleich in der Reiseflughöhe von 18 000 Metern die Lufttemperatur minus 70 Grad beträgt. Für diese enorme Hitzebelastung mußte eine eigene Aluminiumlegierung, das sogenannte Hiduminium, entwickelt werden. Doch nicht nur dieser Werkstoff, der inzwischen auch beim Bau von Militärflugzeugen,

Nicht nur diese Erkenntnisse haben die Forscher inzwischen überzeugt, daß es die bisherige Trennung zwischen Luft- und Raumfahrt bei der Entwicklung künftiger mehrfach schallschneller Flugzeuge nicht mehr geben wird. So wie der Shuttle nicht nur als Raumfahrzeug, sondern auch als Flugzeug konzipiert wurde, sollen künftige Hypersonic-Maschinen den Übergangsbereich zwischen Luft- und Weltraum nutzen.

Das neue amerikanische TAV (Transatmosphere Vehicle)-Programm, für das die Aeronautical Systems Division und die National Aeronautics and Space Administration (NASA) die ersten Pläne ausgearbeitet haben, zeigt diesen Trend deutlich. Die Planungsdaten, die bisher über ein künftiges TAV bekannt geworden sind: Startgewicht 500 bis 750 Tonnen; Start- und Landegeschwindigkeit

Bitte lesen Sie weiter auf Seite 60



## Überschall: Mach 29 in 80 km Höhe

etwa 250 km/h; Flughöhe 80 Kilometer.

Nun halten Sie sich aber bitte fest! Höchstgeschwindigkeit: Mach 29. In Worten: neunundzwanzigfache Schallgeschwindigkeit.

Das bedeutet eine komplette Erdumdrehung wie beim Space-Shuttle in weniger als zwei Stunden. Das bedeutet aber auch, daß bei dieser Geschwindigkeit das Flugzeug zu einem Erdsatelliten wird. Die Fliehkraft der superschnellen Kreisbahn hebt die Erdanziehung auf, so daß das TAV schwerelos wird und ohne jede aerodynamische Auftriebskraft in 80 Kilometer Höhe um den Globus rast. Schwenkbare Raketentriebwerke, die nach dem Prinzip der Shuttle-Motoren entwickelt werden, sollen dabei nicht nur den Antrieb liefern, sondern auch als Zusatzsteuerung der Maschine dienen. Zwar weiß man aus den Shuttle-Flügen, daß beim Hochgeschwindigkeitsflug in dieser Höhe die aerodynamische Wirkung der Ruder eine Steuerung ermöglicht; drosselt man aber die Geschwindigkeit oder will man ein extremes Flugmanöver einleiten, müssen die schwenkbaren Triebwerke die Steuerung der Maschine übernehmen.

Inzwischen sind die ersten Forschungsaufträge bei den großen amerikanischen Flugzeugfirmen in Angriff genommen worden, die unter anderem eine neuartige hochtemperaturbeständige Schutzschicht entwickeln sollen, die eine Verkleidung mit Keramikfliesen überflüssig macht. Nur soviel wurde über den neuen Werkstoff bekannt: Er soll nicht eine brüchige Keramik, sondern eine zähe Metallstruktur haben. Wie viele Jahre man dazu in den geheimen Werkstofflabors der Flugzeugbauer brauchen wird, wagen selbst optimistische Forscher noch nicht vorauszusagen.

Mit einem Problem aber, das die Überschallforscher Jahrzehnte beschäftigte und das sie bis heute nicht lösen konnten, werden sich die TAV-Konstrukteure nicht herumschlagen müssen: mit dem Überschallknall. Die gebündelten Stoßwellen ihrer superschnellen Maschine werden in der extrem dünnen Höhenluft weit schwächer ausfallen als bei einem in 20000 Meter Höhe fliegenden Mach-2-Flugzeug.

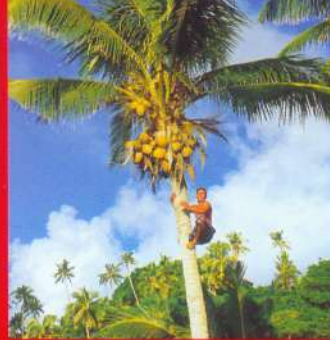
Glaubt man den Experten, so werden wir die Flugzeuge der Zukunft, die mit Mach 29 in 80 Kilometer Höhe um den Erdball rasen, außer bei Start und Landung weder sehen noch hören.

**Peter Pletschacher/Ernst Deissinger**

# WER MACHT ERS UND DANN MUS







**Stolz der Tropen:**

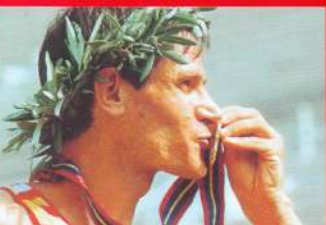
Von der Kokospalme leben 400 Millionen Menschen!



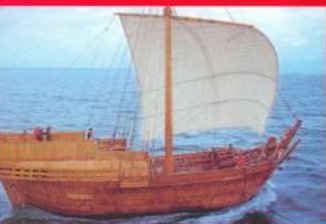
März 2004 Deutschland 3,00 €



**Für immer jung?** Der Axolotl zeigt, wie's geht!



**Olympia:** Wie eine Idee ums Überleben kämpft



**Koggen:** Dieses Schiff veränderte Europa

Größer, schneller  
sicherer? Was  
kommt, wenn der  
Shuttle geht?



# Der Wettlauf um den neuen Raumtransporter

**Folterkammer** für Scheibenwischer • Warum **Kinder** nicht mehr rückwärts laufen können





## TITEL - T H E M A

### 12 **Raumfahrt**

Was kommt, wenn der Shuttle geht?

### 38 **Wirtschaft**

Die Kogge – dieses Schiff hat Europa verändert!

### 48 **Technik**

Stahl trägt die Welt

### 60 **Sport**

Gold für Olympia

### 72 **Zoologie**

Ein Querschnitzmolch zeigt, wie's geht: Für immer jung!

### 76 **P.M. direkt**

Können Kinder heute wirklich nicht mehr rückwärts laufen?

### 82 **Automobil**

Folterkammer für Scheibenwischer

### 90 **Botanik**

Der Baum des Himmels



## 60 **DRAMA OLYMPIA**

Welt: Der Raupenan-  
etmotor im Wasser  
Münchner Designer  
illiarden erleichtern

Seit der Antike sind die Olympischen Spiele mehr als Sport pur:  
ein Drama, in dem auch Politik, Drogen und Geld eine Rolle  
spielen. P.M. erzählt die wechselvolle Geschichte eines Spektakels,  
das die Menschen seit Jahrtausenden in seinen Bann schlägt

FOCUS

BETTMANN/CORBIS

## RUBRIKEN

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| Wissenschaft aktuell       | 22  |
| Die Welten der Philosophen | 36  |
| Rätsel                     | 55  |
| Fragen & Antworten         | 56  |
| Was gibt's Neues?          | 70  |
| Logik-Trainer              | 80  |
| Bücher                     | 88  |
| Impressum & Leserbrief     | 98  |
| P.M.-Service & Auflösung   | 99  |
| Zitate                     | 100 |
| Vorschau                   | 106 |



# Was kommt, wenn der Shuttle geht?

Bevor US-Präsident Bush seine Astronauten zum Mond und zum Mars schickt, muss die NASA ein anderes Problem lösen: Womit wollen die USA künftig zur Internationalen Raumstation ISS fliegen? Denn die Tage des Spaceshuttles sind gezählt. Ein Wettbewerb soll jetzt Ideen für das Raumflugzeug von morgen liefern

VON PETER PLETSCHACHER

## STUDIE VON LOCKHEED

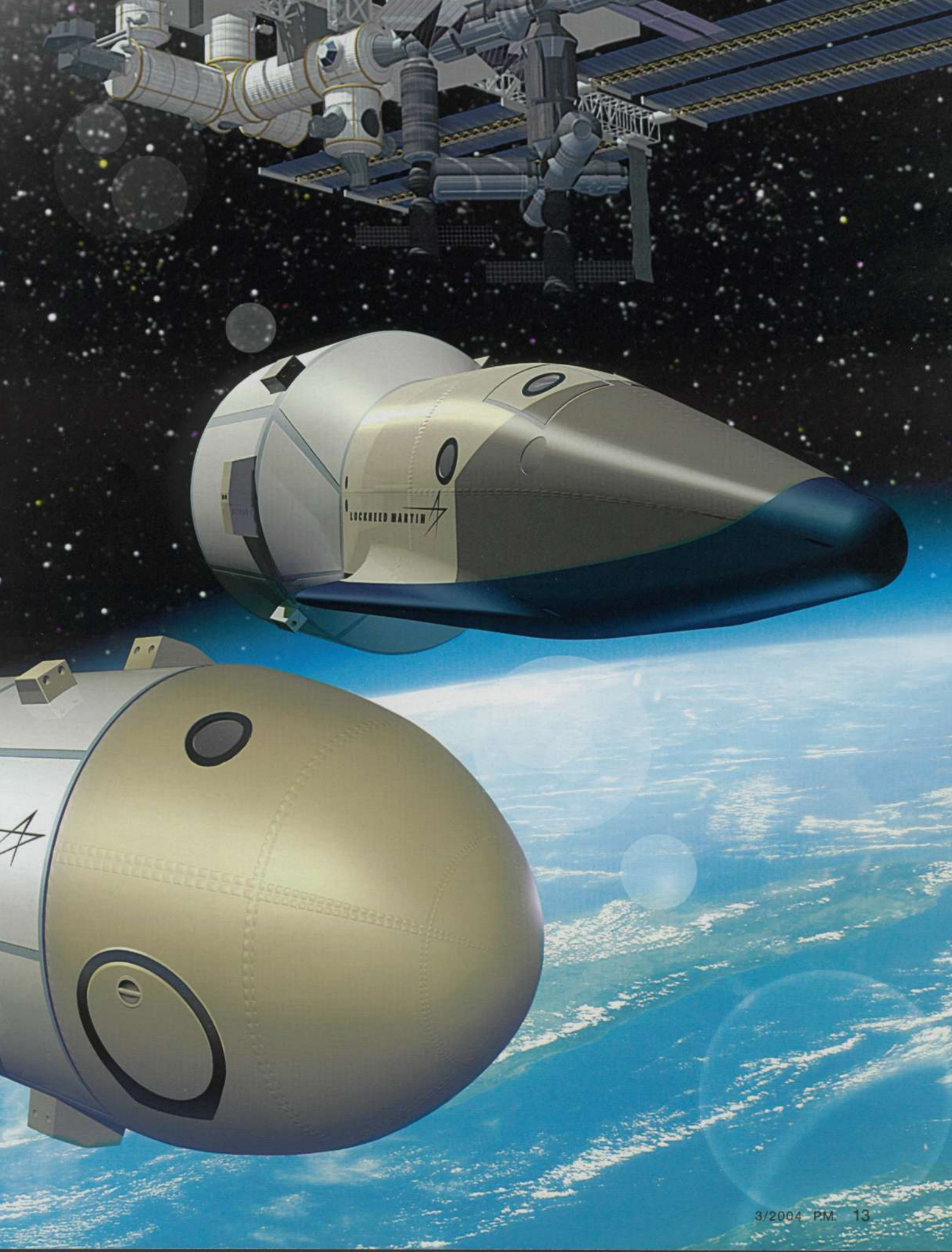
Die Entscheidung über den Nachfolger des Shuttles ist noch nicht gefallen – aber sein Name steht schon fest: »Orbital Space Plane« (OSP). Mit im Rennen: die Entwürfe des US-Herstellers Lockheed Martin (rechts). In der ersten Variante dieses Konzepts bringt eine Rakete ein Raumflugzeug auf 100 Kilometer Höhe (oben); von hier aus fliegt es beispielsweise zur ISS mit eigenem Antrieb weiter. In der zweiten Variante schlägt Lockheed statt des Raumflugzeugs eine Kapsel vor (rechts im Vordergrund)



LOCKHEED MARTIN (2)









**P**assagierflüge zum Mond konnte man schon während der Euphorie der Apollo-Flüge vor dreißig Jahren reservieren. Und vor zehn Jahren ließ sich der Brite Richard Branson, Chef des Unterhaltungskonzerns »Virgin« und der Airline »Virgin Atlantic«, vom Space-Bazillus anstecken und gründete die Raumfluggesellschaft »Branson Space Lines« für Ausflüge ins All. Aber die künftigen Weltraumtouristen werden sich noch etwas gedulden müssen. Denn der Flug in den Orbit ist eine der schwierigsten und riskantesten technischen Herausforderungen der Raumfahrt. Das wurde auf tragische Weise deutlich, als im Februar 2003 der NASA-Space Shuttle Columbia beim Wiedereintritt in die Erdatmosphäre über Texas abstürzte.

**BISHER WAR** der Shuttle das einzige Raumfahrzeug des Westens, mit dem nicht nur schwere Lasten von bis zu dreißig Tonnen, sondern auch Astronauten in den Weltraum transportiert werden konnten. Doch nach der Columbia-Katastrophe mussten die Starts der restlichen drei Shuttles aus Sicherheitsgründen gestoppt werden: Sie sollen frühestens im nächsten Herbst wieder aufsteigen – sofern alle Zweifel an der Sicherheit ausgeräumt sind.

Bis dahin können nur die Russen mit ihren seit Jahrzehnten bewährten kleinen Sojus-Kapseln regelmäßig Menschen in den Orbit befördern. Auch der erste chinesische »Taikonaut« (»taiko« = Himmel), der Mitte Oktober vorigen Jahres 14-mal um die Erde kreiste, benutzte eine Kapsel und kam sicher zurück – ähnlich wie die ersten russischen und amerikanischen Astronauten in den 1960er Jahren.

Raumfahrt verschlingt Unsummen, und eigentlich sollte der wiederverwendbare Space Shuttle dafür sorgen, dass die Kosten deutlich sinken. Doch diese Hoffnung hat sich nicht erfüllt. Schon die Entwicklung

der Raumfähre war mit rund dreißig Milliarden Dollar sehr teuer; ein einziger Start kostet heute einige hundert Millionen Dollar; und der Preis, um ein Kilogramm Nutzlast in den Orbit zu befördern, liegt bei 25 000 Dollar. Kein Wunder, dass die NASA ständig nach preiswerteren Möglichkeiten des Raumtransports sucht. Zielvorgabe: Die Nutzlastkosten sollen auf rund ein Zehntel sinken.

In den vergangenen zwanzig Jahren haben die Amerikaner immer wieder Konzepte für so genannte Raumflugzeuge vorgestellt, die von normalen Flughäfen aus in den Orbit starten. Doch all die hochfliegenden Ideen scheiterten an den harten Realitäten: Entweder die technischen Probleme waren zu groß, oder es fehlte an Geld und politischer Unterstützung.

Warum ist es eigentlich so schwierig, von der Erde aus ins All zu fliegen? Warum kann man nicht einfach mit einem Flugzeug immer weiter auf rund 250 Kilometer Höhe steigen, um dann wie ein Satellit um den Globus zu kreisen?

Das Dilemma besteht darin, dass sich Flugzeuge und Raumfahrzeuge in völlig verschiedenen Welten bewegen. Ein Flugzeug braucht die Atmosphäre; deshalb fliegen die heutigen Jet-Airliner auch nur in zehn bis zwölf Kilometer Höhe, Kampfflugzeuge erreichen rund zwanzig Kilometer. Zwar konnte 1963 das Experimentalflugzeug »North American X-15« auf die Rekordhöhe von fast 108 Kilometern steigen – aber das ist nur mit einem Raketenmotor möglich, für den neben dem Treibstoff auch noch der für die Verbrennung nötige Sauerstoff im Tank mitgeführt werden muss. Mit düsengetriebenen Flugzeugen kann man nicht so hoch fliegen, denn mit zunehmender Höhe wird die Luft immer dünner: Die Flügel erzeugen nicht mehr den nötigen Auftrieb, und die Triebwerke leiden unter Atemnot.

Wollte man mit einem Flugzeug ins All, müsste es sich während des Fluges in eine Rake-

te verwandeln: In der Atmosphäre fliegt es mit Düsenmotoren, die die Umgebungsluft nutzen, und im Weltraum sorgen Raketen für den nötigen Schub. Hybridtriebwerke zu entwickeln, die sowohl Düsen- als auch Raketenmotor sind, ist aber technisch extrem aufwändig. Deshalb bietet sich eine andere Lösung an: Ein düsengetriebenes Flugzeug dient als »Mutterschiff« und trägt auf seinem Rücken – quasi als zweite Stufe – ein Raketenflugzeug. Am Ende des Steigflugs auf rund 25 Kilometer Höhe erreicht das Gespann etwa siebenfache Schallgeschwindigkeit, dann löst sich das Raketenflugzeug und steigt mit bis zu 25facher Schallgeschwindigkeit weiter auf rund 350 Kilometer Höhe. Das enorme Tempo ist nötig, weil erst dann die Fliehkraft beim Kreisen um die Erde so groß ist, dass sie die Erdanziehungskraft überwindet. Im Orbit angekommen, kreist das Raketenflugzeug antriebslos wie ein Satellit.

**MIT WELCHER TECHNIK** auch immer man in den Weltraum fliegen will – der Energiebedarf ist extrem hoch. Selbst Raumsonden, die bis zum Rand unseres Sonnensystems vordringen sollen, verbrauchen die Hälfte der Energie schon auf den ersten paar hundert Kilometern, um der Erdanziehung zu entfliehen. Das zweite technische Problem ist die Rückkehr aus dem All zur Erde. Sobald ein Raumflugzeug bremst, beginnt es automatisch auch schon zu sinken, denn die Fliehkraft nimmt ab, die Erdanziehung überwiegt. Deshalb taucht ein Shuttle oder ein Raumflugzeug immer noch mit über 20 000 Kilometer pro Stunde aus dem All in die Erdatmosphäre ein, und dabei erhitzt sich die Außenhaut durch die extreme Reibung der Luft auf rund 2000 Grad Celsius. Bei solchen Hölletemperaturen schmilzt jedes Metall, und deshalb muss das Flugzeug durch Keramikschalen gegen die Hitze geschützt werden. Dass diese Technik nicht ohne Risiko ist, hat der Colum-

# Neuer Kurs: in die Verga



BOEING (3)



# Vorwärts ingenheit

## GEKOPPELT: RAKETE UND RAUMFLUGZEUG

Vorschlag von Boeing: Das «Orbital Space Plane» wird von einer Trägerrakete ins Weltall transportiert (links) und steuert dann selbstständig weiter (unten). Im Gegensatz zum Spaceshuttle wird das Raumflugzeug nicht huckepack genommen, sondern sitzt an der Spitze der Rakete



LOCKHEED MARTIN

## RAUMKAPSEL STATT RAUMFLUGZEUG

Die Havarien der Spaceshuttles «Columbia» und «Challenger» haben gezeigt, dass solche wiederverwendbaren Raumfähren unkalkulierbare Risiken bergen. Deshalb greift Boeing in einem zweiten Vorschlag auf eine altbewährte Technologie zurück: Die Astronauten reisen nicht in einem flugzeugähnlichen Gefährt, sondern in einer Kapsel durchs All (links: Aufglühen des Schutzschields beim Wiedereintritt in die Erdatmosphäre)

## RÜCKKEHR IM GLEITFLUG

Mit dieser Studie nimmt der US-Konzern Northrop Grumman am NASA-Wettbewerb teil: Eine Trägerrakete mit zwei Boostern bringt das Raumflugzeug ins All. Nach Abschluss seiner Mission gleitet es antriebslos zur Erde zurück



NORTHROP GRUMMAN

## EINFACHER IST SICHERER

Experten spekulieren über den Ausgang des NASA-Wettbewerbs: Das «Orbital Space Plane» wird kein geflügeltes Vehikel sein, sondern eine Kapsel, die an Fallschirmen landet (oben). Dafür sprechen nicht nur Sicherheitsaspekte: Kapseln sind auch viel billiger – eine Erfahrung der russischen Raumfahrt, aber auch des amerikanischen Apollo-Programms früherer Zeiten





bia-Absturz gezeigt: Beim Start hatte sich von der Isolierung des Haupttanks ein Stück Hartschaum gelöst und war mit voller Wucht gegen die Unterseite des Shuttle-Flügels geprallt. Dabei wurden einige der Heizkacheln beschädigt, sodass beim Wiedereintritt in die Erdatmosphäre die glutheiße Luft wie ein Schneidbrenner wirkte und den Flügel zerstörte.

**BLEIBT DAS** Raumflugzeug also angesichts dieser Probleme eine unerreichbare Utopie? Auch wenn die Sache kompliziert ist: Die NASA ist gezwungen, darüber nachzudenken. Denn die Tage der drei verbliebenen Raumfähren sind gezählt. Man braucht sie zwar wegen ihrer enormen Tragkraft von dreißig Tonnen noch zur Vollendung der bisher nur halbfertigen Internationalen Raumstation ISS – aber als Taxi für den Transport von Astronauten sind sie zu teuer und auf Dauer auch zu gefährlich. Ein Nachfolger der Shuttles ist schon deshalb dringend notwendig, weil der ISS noch eine Art Rettungsboot fehlt, mit dem sich die sechs- bis siebenköpfige Besatzung in Notfällen schnell in Sicherheit bringen kann. Heute ist zwar ständig eine russische Sojus-Kapsel an der Station andockt, aber die hat nur Platz für drei Passagiere. Die ISS-Besatzung von vornherein auf drei Astronauten zu beschränken geht auch nicht: Diese Mini-Crew würde gerade mal ausreichen, um die Raumstation in Betrieb zu halten – für wissenschaftliche Arbeiten wäre eine ständige Mannschaft von mindestens sechs Astronauten nötig.

Um die Lücken, die die Shuttle nach ihrer endgültigen Ausmusterung hinterlassen werden, zu schließen, entwarf die NASA das Konzept der sechssitzigen Rettungs-Raumfähre »Crew Rescue Vehicle« – doch es wurde vor zwei Jahren aus Geldmangel gestoppt. Kurz nach dem Columbia-Absturz nahmen die Amerikaner dann einen neuen Anlauf für ein Raumflugzeug, das als Transportmittel für As-

tronauten und als Rettungsvehikel dienen soll. Für dieses »Orbital Space Plane« (OSP) wurde zwischen den Firmen Boeing, Lockheed und Northrop ein neuer Entwurfswettbewerb gestartet. Das Raumflugzeug soll nach den bisher bekannt gewordenen Plänen ab 2010 Astronauten zur ISS und zurück bringen können.

Der Wettbewerb läuft zwar noch, aber schon jetzt zeigen die ersten Ideen für das OSP: Die Amerikaner sind sehr viel bescheidener geworden. Denn dieses neue Raumflugzeug wird nicht – wie in früheren Projekten angestrebt – wie ein Flugzeug starten, sondern an der Spitze einer Rakete; ab einer Höhe von hundert bis 150 Kilometern fliegt es mit eigenem Antrieb weiter. Wie es aussehen wird, steht noch nicht fest. Die Wettbewerbsfirmen untersuchen zurzeit verschiedene Alternativen – darunter sind geflügelte Modelle, aber auch bewährte Fluggeräte aus den Pioniertagen der bemannten Raumfahrt: Kapseln. Sie unterscheiden sich kaum von denen, die die Russen seit über vierzig Jahren mit großem Erfolg verwenden oder die in Amerika bei John Glenns erster Erdumrundung und den Apollo-Flügen eingesetzt wurden.

**NOCH BIS VOR** kurzem hatte Boeing auf eine viel anspruchsvollere Technologie gebaut, um eines Tages den Spaceshuttle ersetzen zu können. Im Auftrag der NASA entstand das Experimentalgerät »X-37«, das wie ein verkleinerter Shuttle aussieht, aber ohne Astronauten vollautomatisch Nutzlasten ins All bringen sollte. Die Zukunft dieses ambitionierten Shuttle-Nachfolgers ist jedoch ungewiss, denn jetzt heißt die Devise: vorwärts in die Vergangenheit. Deshalb ist es sehr wahrscheinlich, dass das OSP nur eine Raumkapsel werden wird – wenn die Amerikaner von »Raumflugzeug« sprechen, ist das also eine kühne Übertreibung. Aber es gibt wohl keine Alternative zum Rückgriff auf konservative Technik: Die USA können sich kein Risiko mit

exotischen und unerprobten Technologien mehr leisten.

**AUCH WENN** die Vorsicht Regie führt: Das OSP-Projekt ist in den USA schon jetzt umstritten. Während die NASA und die Astronauten voll dahinter stehen, gibt es unter den Politikern auch Gegner. Sie kritisieren, dass das Orbital Space Plane viel zu teuer ist und dafür zu wenig bietet. Die Investitionen werden auf elf bis 13 Milliarden Dollar veranschlagt – im NASA-Budget sind bisher aber nur magere drei Milliarden vorgesehen. Außerdem sei die Auslegung auf »mindestens vier Astronauten« zu gering, um der Aufgabe als Transport- und Rettungsfahrzeug der ISS gerecht zu werden. Im Laufe des Jahres müssen sich die Amerikaner aber entscheiden: Falls auch das OSP wieder – wie so viele Projekte vorher – gestoppt werden sollte, ist die Zukunft der bemannten US-Raumfahrt in Gefahr.

Aber selbst in dieser Zeit des nüchternen Realismus gibt es noch Visionen, auch in Europa. Die Raumfahrt-Division des europäischen Konzerns EADS (»European Aeronautic Defense and Space«) stellt sich das Jahr 2020 so vor: Auf dem Weltraumbahnhof Kourou in Französisch-Guayana wird ein Start vorbereitet; doch keine Ariane 5 ragt in den Himmel, sondern am Boden steht das schnittige Raumflugzeug »Hopper« – mit 27 Meter Spannweite und rund fünfzig Meter Länge sieht es aus wie eine etwas zu dick geratene Concorde. Das Raumflugzeug wiegt mit 500 Tonnen fast so viel wie ein Mega-Airbus A380. In seinem Heck sitzen drei gewaltige Raketenmotoren Vulcain 3R, wie sie auch in der Hauptstufe der Ariane 5 verwendet werden: Sie bringen einen Schub von insgesamt nahezu 300 Tonnen – fast doppelt so viel wie die vier Triebwerke des A380 zusammen.

Aber auch diese enorme Leistung würde nicht ausreichen, um das Schwergewicht ins All zu hieven. Deshalb steht der Hopper nicht auf einer gewöhnlichen

Piste, sondern auf einem Magnetschwebe-Schlitten, der auf einer vier Kilometer langen Startschiene gleitet wie ein Transrapid. Sobald die gewaltigen Raketenmotoren des Hopper zu arbeiten beginnen, beschleunigen starke Magnetfelder den Schlitten in wenigen Sekunden auf 500 Kilometer in der Stunde. Dann hebt das Raumflugzeug ab und steigt mit seinen Raketenmotoren steil in den Himmel bis auf 130 Kilometer Höhe. Bei zehnfacher Schallgeschwindigkeit wird mitten über dem Südatlantik die Nutzlast von bis zu 7,5 Tonnen ausgestoßen – etwa ein Satellit, der dann mit einem eigenen Raketenmotor weiter bis in seine Umlaufbahn steigt. Hat der Hopper seine Aufgabe erfüllt, gleitet er antriebslos zurück und landet auf den Azoren oder der Insel Ascension im Südatlantik.

**DIESES RAUMFLUGZEUG** ist zwar noch nicht für bemannte Expeditionen ins All ausgelegt, bietet aber entscheidende Vorteile. Zum einen liegen die Nutzlastkosten um 75 Prozent unter denen des Spaceshuttles. Zum anderen eröffnet der Hopper eine neue, weniger gefährliche Variante des Raumtransports: Weil er im Gegensatz zum Shuttle noch innerhalb der Atmosphäre bleibt, ist er bei der Rückkehr nicht der extremen Hitze ausgesetzt wie die Raumfähre. Nachteil: Die Nutzlast braucht eine eigene Antriebsstufe, um vom Scheitelpunkt der Hopper-Flugbahn aus in die vorgesehene Umlaufbahn zu gelangen.

Das wiederverwendbare Raumflugzeug wurde von EADS mit dem Ziel entwickelt, Europa einen autonomen Zugang zum All zu schaffen. Der Hopper könnte zum Nachfolger der Ariane 5 werden und Satelliten in ihren Orbit befördern oder Nutzlasten zur Raumstation transportieren – und in einer weiteren Entwicklungsstufe könnte er auch dem Transport von Astronauten dienen. Zwar ist noch längst nicht ausgemacht, dass er eines Tages wirklich fliegen wird,



# Konkurrenz für die NASA: Auch Europa mischt mit!



## »HOPPER« STARTET WIE EIN TRANSPERID

Der europäische Konzern EADS möchte den Gleiter »Hopper« (oben) bauen – zunächst als reinen Lastentransporter, später vielleicht als bemanntes Raumschiff. Um das Schwerkraft (500 Tonnen) vom Boden zu kriegen, wird es von einem Magnetschwebe-Schlitten auf einer vier Kilometer langen Startschiene in die Luft katalpultiert (links: ein ähnliches System). Im Frühjahr geht das verkleinerte Testmodell »Phoenix« (rechts) an den Start: Ein Hubschrauber zieht es auf 3500 Meter Höhe, wo es sich ausklinkt und zur Erde gleitet



**HOCHFLIEGENDE TRÄUME** Ursprünglich hatte Boeing für den Nachfolger des Spaceshuttles auf sehr anspruchsvolle Technologien gesetzt: So sollte die X-37 (links im Bild; daneben andere Modelle der X-Reihe) vollautomatisch fliegen und wie ein Flugzeug landen. Doch die Zukunft von X-37 ist noch ungewiss





aber die Windkanalversuche laufen schon. Das verkleinerte Modell »Phoenix« mit nur sieben Meter Spannweite und einem Gewicht von 1,2 Tonnen geht bereits in diesem Frühjahr an den Start, allerdings nur im Schlepptau eines Hubschraubers. In 3 500 Meter Höhe wird Phoenix ausgeklinkt, schwebt dann wie ein Segelflugzeug zur Erde und landet vollautomatisch auf einem Flugplatz in Nordschwedens. Nicht zuletzt vom Erfolg dieser Vorversuche wird es abhängen, ob sich die Europäische Raumfahrtagentur ESA ernsthaft mit dem EADS-Konzept befassen wird.

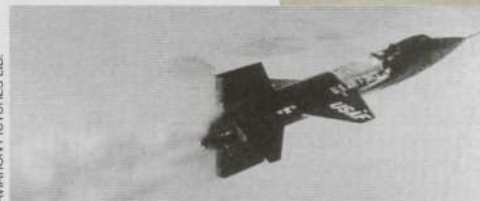
**HOPPER IST** nicht der erste Anlauf der Europäer, ein wiederverwendbares Transportsystem für Satelliten und Astronauten zu entwickeln. Schon in den 1960er Jahren hatte das Unternehmen Junkers – damals die Raumfahrttochter der Flugzeugfirma Messerschmitt – das nach einem berühmten Raumfahrtwissenschaftler benannte Projekt »Sänger« vorgeschlagen: einen zweistufigen Raumtransporter, der mithilfe von Heißwasserraketen starten und in großer Höhe ein Huckepack-Raketenflugzeug ins All schießen sollte. Anfang der 1990er Jahre wurde das Konzept in verbesserter Form als »Sänger II« erneut diskutiert – aber für eine Realisierung fehlte das Geld. Auch der europäische Mini-Shuttle »Hermes« fiel vor zehn Jahren dem Rotstift zum Opfer.

Scheitern auch die hochfliegenden Träume vom Raumflugzeug des 21. Jahrhunderts am Geld? Sicher ist nur: Weder die NASA noch die ESA werden in absehbarer Zeit die Mittel aufbringen können, um ein wiederverwendbares Raumflugzeug als Nachfolger der heutigen Träger Raketen und Spaceshuttles zu entwickeln. Aber vielleicht sind es in Zukunft gar nicht die mit Steuermitteln finanzierten Raumfahrtbehörden, die den Traum vom Flug ins All realisieren – es gibt inzwischen auch Privatinitiativen, die für manche Überraschung sorgen könnten.

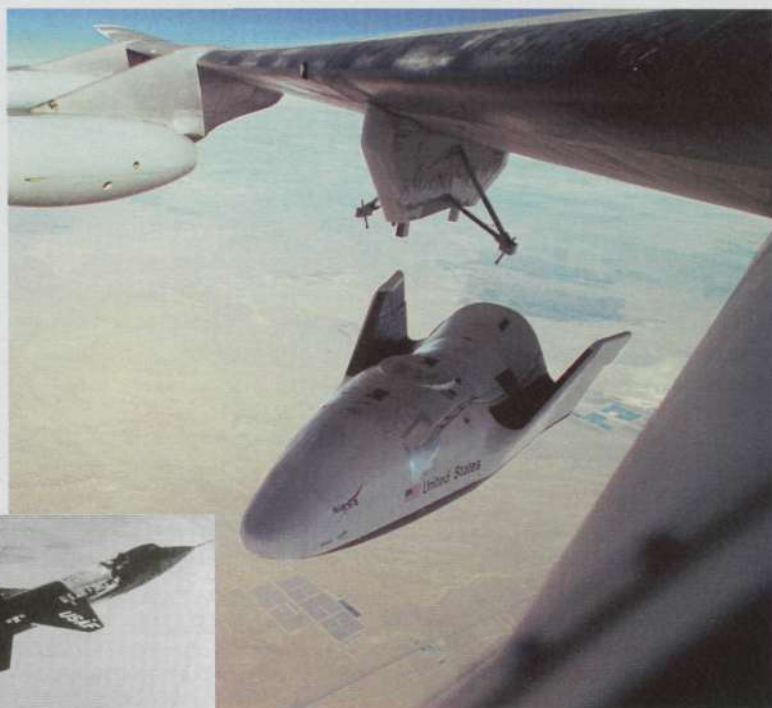
# Retten Privatfirmen die bemannte Raumfahrt?

## START IN DER LUFT

Die »North American X-15« (unten; 1963) war ein Zwitter aus Flugzeug und Rakete. Sie brachte es immerhin auf 108 Kilometer Höhe. Für noch größere Höhen ist diese Technologie nicht geeignet, weil sie gigantische Sauerstoffvorräte für den Antrieb erfordern würde. Rechts: das Modell einer X-38, das bei einem Testflug von einem Flugzeug aus startet



AVIATION PICTURES LIB.



NASA

So ist noch in diesem Jahr mit dem Ergebnis eines der aufregendsten Raumfahrt-Wettbewerbe der letzten Jahre zu rechnen. Für den ersten Flug mit drei Personen bis auf hundert Kilometer Höhe hatten großzügige Sponsoren den »X-Prize« in Höhe von zehn Millionen Dollar ausgesetzt (s. P.M. 8/03). Mehr als zwei Dutzend Teams aus den USA sowie aus Großbritannien, Frankreich, Russland und Japan bewerben sich mit ihren Fahrzeugen um diesen Preis. Zwar würde man mit einem »suborbitalen« Flug gerade mal den obersten Rand der Atmosphäre erreichen, aber die Hoffnung der Initiatoren ist groß: Wenn dieser Flug mit relativ einfachen Mitteln und zu vertretbaren Kosten gelänge, wäre er der Beginn des Weltraumtourismus.

Noch ambitionierter sind die Ziele der vor vier Jahren in Seattle gegründeten Firma »Blue Origin«. Ehemalige NASA-Ingenieure, Physiker und Erfinder arbeiten dort unter strengster Geheimhaltung an einem neuartigen, wiederverwendbaren

Raumflugzeug, das sieben Menschen ins All befördern soll. Finanziert wird dieses Raumschiff, dessen Name »New Shepard« an den ersten Amerikaner im All erinnern soll, von einem Unternehmer, der auf einem ganz anderen Gebiet zum Erfolg kam: Jeff Bezos, Gründer des Internet-Versandhauses Amazon.

**SCHON ALS KIND** war er von der Raumfahrt fasziniert, und in seiner Abschlussrede an der Highschool von Miami breitete er 1982 vor einem verblüfften Auditorium die Vision von der Kolonisierung des Alls aus. Nachdem Bezos mit Amazon zu einem der hundert reichsten Amerikaner geworden ist, geht er nun daran, seine Weltraumträume in die Tat umzusetzen: Sein mysteriöses New Shepard soll schon in den nächsten Jahren in den Weltraum fliegen. Und bis zum Jahr 2039 will Blue Origin die private Raumstation »Heliopolis« in den Orbit bringen: Von hier aus wären dann weite Flüge bis tief in das Sonnensystem möglich. Von Experten des re-

nommierten California Institute of Technology hat sich Bezos bereits das Konzept dieser Raumstation entwerfen lassen.

Zwar werden die Kosten für die Entwicklung und den Bau von Heliopolis auf 105 Milliarden Dollar geschätzt, doch Bezos glaubt, dass er diese gigantische Summe wieder hereinspielt: Durch Weltraumtourismus und kommerziellen Bergbau auf fernen Asteroiden will er pro Jahr mehr als 200 Milliarden Dollar Gewinn erwirtschaften. Eine frühere Schulfreundin hat ihn einmal damit aufgezogen, er habe den Online-Buchversand nur deshalb aufgebaut, um sich das Geld für seine Raumfahrtträume zu beschaffen. Bezos' lapidare Antwort: »Wäre ja gar nicht schlecht, wenn ich dabei mithelfen könnte.« ★

## INTERNET-ADRESSEN

► Orbital Space Plane News: [www.ospnews.com](http://www.ospnews.com)

► Weitere Informationen und Links finden Sie unter [www.pm-magazin.de](http://www.pm-magazin.de)





## Hemden bügeln mit Luft

»DRESSMAN TJ 10000« VON SIEMENS. Laut Umfragen gehört Bügeln zu den unbeliebtesten Tätigkeiten im Haushalt. Und es kostet Zeit: Für ein Hemd brauchen auch Geübte im Schnitt acht Minuten. Das neue Haushaltsgerät »dressman TJ 10000« (1029 Euro) nimmt seinem Besitzer jetzt die Arbeit ab. Das schleuderfeuchte Hemd wird über die Bügelpuppe gezogen, eingespannt und glatt gezogen. Nun braucht man nur noch das entsprechende Programm einzustellen, schon strömt Luft in die Bügelpuppe – und sie bläst sich auf. Binnen sechs Minuten wird jedes Hemd aus gewebten Stoffen von Größe 35 bis 50 auf diese Weise perfekt geglättet. Der Hemdenbügler eignet sich für Seide genauso wie für Flanell oder Baumwolle. [www.siemens-hausgeraete.de](http://www.siemens-hausgeraete.de)



## Mini-Camcorder für Einsteiger

»MV 700i« VON CANON ist ein extrem kleiner Camcorder. Mit nur ca. 5,3 cm Breite, 9,5 cm Höhe und 13,8 cm Tiefe bei gerade einmal 575 Gramm Gewicht eignet sich das Gerät gut zum »ständigen Begleiter«. Trotz seiner geringen Abmessungen bietet es technisch eine ganze Menge. So ermöglicht der hochauflösende Bild-Sensor CCD (800 000 Pixel) natürlich erscheinende Bilder. Besonderer Pluspunkt: Dieser Camcorder (ca. 480 Euro) ist für Einsteiger gut geeignet, weil er sich leicht bedienen lässt. Dabei bietet er acht Aufnahmearten: Vollautomatik, Automatik, Sport, Porträt, Spotlight, Sand und Schnee, Low Light und Night und darüber hinaus verschiedene Digitaaleffekte. [www.canon.de](http://www.canon.de)



## »Strom-Tankstelle« für unterwegs

»BRENNSTOFFZELLE« VON MASTERFLEX. Diese tragbare Mini-Stromquelle dient auf der Basis von Wasserstoff als alternative Energieversorgung mobiler Geräte. Die Mini-Brennstoffzellen werden zum Beispiel die herkömmlichen Akkus in Notebooks leistungsfähiger machen, denn mit ihnen kann unterwegs »nachgetankt« werden. Ein Laptop lässt sich dann bis zu 35 Stunden netzunabhängig betreiben. Auf der CeBit in Hannover wird die »Masterflex-Zelle« für Notebooks, Handys oder Drucker vorgestellt (Preis steht noch nicht fest). [www.masterflex.de](http://www.masterflex.de)



## Schloss mit Pfiff

»ALARM-KABELSCHLOSS« Dieses Schloss (39,95 Euro) funktioniert nach dem Prinzip: Doppelt genäht hält besser. Das vier Millimeter dicke Stahlseil sichert Fahrräder oder Gartenmöbel erstmal auf herkömmliche Weise. Versucht aber jemand, das Seil zu durchtrennen oder das Schloss aufzubrechen, ertönt eine ohrenbetäubende Sirene – mit 120 Dezibel so laut wie ein startendes Flugzeug. [www.proidee.de](http://www.proidee.de)



# SCIENCE & VIE

MENSUEL - N° 891

DECEMBRE 1991

## AILE VOLANTE: 1000 PASSAGERS A 1000 KM/H

● **La fusion  
entre le chaud  
et le froid**

● **Pourquoi  
le pain  
français  
est mauvais**

145 FB - 6 FS - \$ can 3,75 - 550 Ptas - 550 Esc - 28 Dh - 2750 Dt - 4800 L - USA NYC \$ 4,25 - RCI : 1370 CFA - 940 CFP

M 2578 - 891 - 20,00 F



© LACROIX



**Un Deug, aujourd'hui capitaine  
et bientôt en maîtrise de gestion.**

## TOUJOURS EVOLUER VERS DE NOUVELLES RESPONSABILITES

Choisir la carrière d'officier, c'est :

- recevoir une formation initiale de haut niveau,
- bénéficier d'une formation continue en cours de carrière,
- vivre le commandement sur le terrain en vraie grandeur,
- se spécialiser dans une branche technique.

Expérience toujours renouvelée, la carrière d'officier demande de savoir se remettre en question, prendre du recul pour aller plus loin dans son évolution personnelle.

Vous suivez un cycle d'enseignement supérieur et vous souhaitez acquérir une formation de qualité ?

Renseignez-vous sur les opportunités que vous offre l'Armée de Terre.



**ARMEE DE TERRE**  
**VIVRE FORT**

### Le Bac ?

Titulaire d'un Brevet de Préparation Militaire Supérieure (PMS), vous pouvez accéder au statut d'officier appelé (EOR) dès votre Service National.

A l'issue, il vous sera possible d'opter :

- pour un contrat d'Officier de Réserve en Situation d'Activité (ORSA) avec le choix entre 2 filières : "Encadrement" ou "Spécialiste" : niveau BAC + 2,
- ou pour une carrière longue d'officier en fonction de vos performances en préparant le concours de l'Ecole Militaire Interarmes (EMIA).

### Bac + 2

Vous pouvez accéder à la carrière d'officier en préparant le concours de la prestigieuse école de Saint-Cyr ou devenir administrateur ou gestionnaire en passant le concours de l'Ecole Militaire du Corps Technique et Administratif (EMCTA).

### Bac + 3 et plus

Avec un diplôme d'ingénieur (ENSAM, Mines, Centrale, Polytechnique...) ou avec une licence ou une maîtrise, vous pouvez accéder directement au corps des officiers de l'Armée de Terre.

**Pour en savoir plus,  
tapez 3615 code Terre.**

Pour recevoir une documentation complète, retournez-nous ce coupon-réponse ou adressez-vous au Centre de Documentation de l'Armée de Terre (CDAT) dont vous trouverez les coordonnées sur le minitel : 3615 code Terre.

Coupon-réponse à renvoyer au SIRPA TERRE - 231, boulevard Saint-Germain - 75007 Paris

Nom :

Prénom :

Age :

Tél. :

Adresse :

Niveau d'études :

Service National effectué

☐ Oui

☐ Non

SVO





# 1 000 PASSAGERS DANS LES AILES

PAR SERGE BROUSSELIN





### Cinq mastodontes du ciel.

Airbus Industrie prévoit de remplacer son actuel Super Guppy (transport, entre autres pièces, de tronçons entiers de fuselage d'avion) par un appareil deux fois plus gros, le Super Airbus Transporter (1). Autre étude du consortium européen : un appareil de même capacité que l'actuel A 310, pourrait être beaucoup plus compact à condition de transporter des passagers dans une aile épaisse intégrant le fuselage (2). Chez le constructeur américain Lockheed, on envisage plusieurs configurations, dont ces trois Span Loaders (capables d'emmener des passagers ou du fret dans les ailes) : un avion à ailes droites (3) à 4 réacteurs de 25 tonnes de poussée chacun (distance maximale franchissable 4 200 milles nautiques, Mach 0,6) ; un autre à aile delta et fuselage intégré (4) à 8 réacteurs de 24 t de poussée (2 500 milles nautiques, Mach 0,8) ; une aile volante boomerang (5) à 6 réacteurs x 24 t (4 100 milles nautiques, Mach 0,75). Ce dernier appareil n'aurait pas un train d'atterrissage classique, mais se poserait sur coussin d'air.

*Pour transporter huit cents ou mille passagers d'un coup, les constructeurs doivent faire appel à des formules d'avions dites "exotiques" : ailes volantes, ailes delta, avions à deux ou trois ponts, à ailes pliantes. Ces nouveaux super-gros porteurs doivent obligatoirement décoller, atterrir et se garer sans modification des pistes et hangars des milliers d'aéroports existant dans le monde.*



**B**oeing, Airbus Industrie et les autres y pensent tous, même s'ils ne le disent encore qu'à mi-voix : ils veulent fournir aux compagnies aériennes des avions capables de transporter jusqu'à 1 000 passagers. Mais pour fabriquer des super-gros porteurs de cette capacité, il leur faudra faire preuve de beaucoup d'imagination. Impossible, en effet, d'allonger et de grossir les fuselages et les ailes des avions actuels. Tout simplement parce que les ailes seraient tellement énormes que les nouveaux monstres de l'air seraient incapables de se mouvoir au sol sur les aéroports actuels. Déjà, sur le 777, le dernier né des avions de ligne de Boeing, il est prévu de replier le bout des ailes, si les acheteurs choisissent cette option, pour qu'un tel appareil puisse se garer sur les parkings. Mais la solution est bâtarde et peu satisfaisante : d'une part, le mécanisme de mouvement des ailes représente une augmentation de poids, d'autre part, le passager moyen ne doit pas être très rassuré de voir les ailes de "son" avion se plier et se déplier de la sorte.

D'où l'idée de s'affranchir complètement de la formule classique du fuselage accroché à une paire d'ailes avec un empennage à l'arrière. Comment ? Il existe en fait deux solutions.

**L'avion à deux étages.** Sur le futur ASX 700, probable successeur de l'Airbus A 340 qui a débuté des essais en vol le 25 octobre, on trouvera ainsi deux ponts. Mais deux ponts, cela ne fera jamais que 700 passagers.

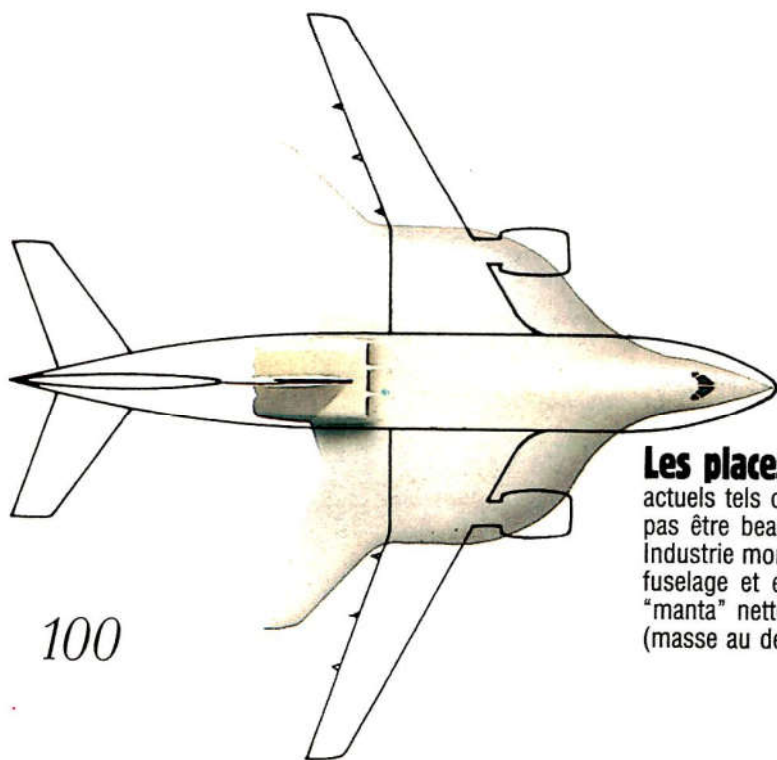
**L'avion à deux ailes.** On peut aussi, sur un fuselage capable de transporter un millier de passagers, installer une voilure biplan, c'est-à-dire deux ailes placées l'une au-dessus de l'autre. On aura ainsi la surface portante nécessaire, sans l'envergure gigantesque d'une voilure monoplan. Hélas ! Les lois de

l'aérodynamique montrent que cette solution n'est intéressante qu'à faible vitesse, 300 km/h. Au-delà, la traînée <sup>(1)</sup> devient prohibitive, et avec elle la consommation de carburant.

**Les avions "exotiques".** Un certain nombre de "nouvelles formules aérodynamiques" sont envisagées. Par exemple, au lieu d'avoir sur un fuselage classique des ailes de grande envergure, on obtient la même surface alaire avec des ailes étirées le long du fuselage en une sorte de delta. Le fuselage est lui-même encastré dans la voilure, qui est très épaisse et à l'intérieur de laquelle on peut aussi loger des passagers. Cette formule a été évoquée officiellement pour la première fois lors d'une conférence donnée à Dubaï, en février 1987, par Adam Brown, alors vice-président du consortium européen Airbus Industrie. A l'époque, il s'agissait de comparer un Airbus A 310, et un avion de même contenance, mais dont le fuselage serait fondu dans l'aile (c'est le concept d'avion intégré) et qui serait dépourvu d'empennage arrière (*voir dessin ci-dessous*). Depuis, les techniciens ont élargi les applications d'un tel concept, jusqu'à imaginer des Super Jumbo (entre 800 et 1 000 passagers).

**L'aile volante, avion de ligne d'après-demain.**

Le très important volume utile que représente ce concept permet d'envisager l'installation de charges volumineuses et lourdes à l'intérieur de structures plus fines — les ailes —, donc plus légères, que les fuselages des avions classiques. L'aile volante est « le prochain saut gigantesque qui pourrait intervenir dans le domaine du transport subsonique », expliquait Adam Brown, à Dubaï, avant de détailler les avantages du projet en termes de poids, de consommation de carburant, de coûts de production. Il faut savoir en effet que le rendement aérodynamique d'une aile volante est excellent. Le fuselage d'un avion classique ne participant pas à la portance, un tel appareil nécessite donc, pour un même poids, une poussée plus importante qu'une aile volante. De plus, le fuselage provoque, aux emplantures des ailes, des zones de discontinuité qui perturbent l'écoulement de l'air sur l'avion. Il en résulte une traînée accrue. Dans les deux cas, un avion classique consomme donc plus de carburant qu'une aile volante. Enfin, chez cette dernière, les efforts mécaniques que subit la voilure sont nettement moindres que ceux que supporte une aile classique aux emplantures, là où les ailes se raccordent au fuselage : en vol, le poids de l'avion le tire

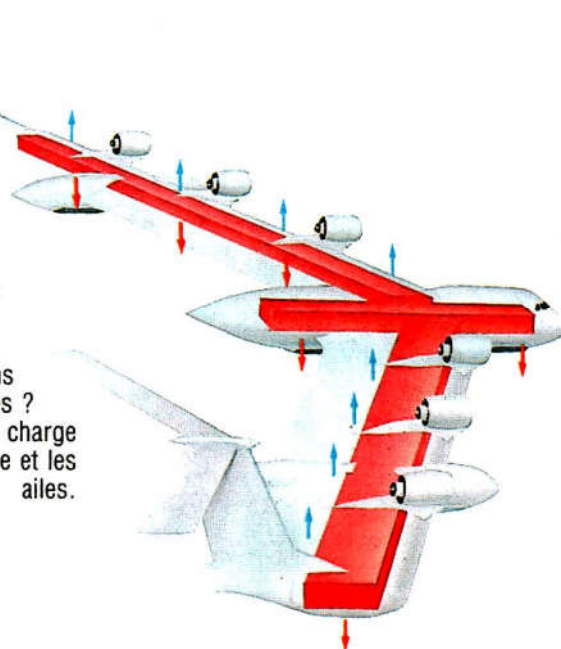
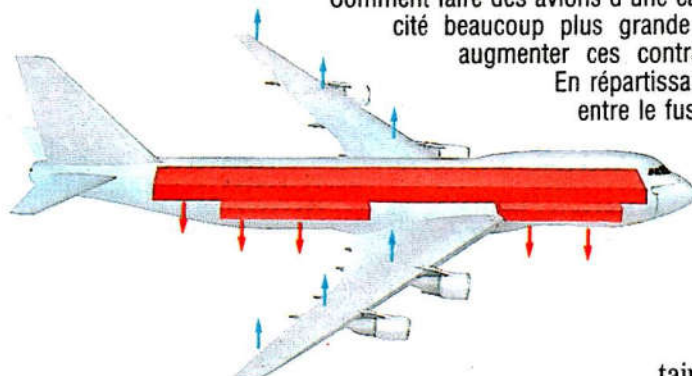


**Les places oui, la place non.** Pour pouvoir utiliser les aéroports actuels tels quels, les super-gros porteurs de 1 000 passagers ne devront pas être beaucoup plus gros que les avions actuels. Une étude d'Airbus Industrie montre que cela est possible : en "collant" les ailes d'un A 310 au fuselage et en intégrant celui-ci à la voilure, on obtient un avion à aile "manta" nettement plus petit bien qu'ayant des performances semblables (masse au décollage, charge utile, distance franchissable, vitesse).



**Charger les ailes pour les décharger.** Lorsqu'un avion est en vol, l'écoulement des filets d'air sur le profil des ailes produit une force ascendante, la portance, qui "aspire" l'avion vers le haut et compense son poids, qui le tire vers le bas. Dans les avions classiques, la masse de l'avion est concentrée dans le fuselage ; on comprend aisément que plus celui-ci est lourd, plus sont importantes les contraintes qui s'exercent aux emplantures des ailes (l'endroit où elles sont "collées" au fuselage).

Comment faire des avions d'une capacité beaucoup plus grande sans augmenter ces contraintes ?  
En répartissant la charge entre le fuselage et les ailes.



vers le bas, alors que la portance tire les ailes vers le haut. Ignorant ce type de contrainte, une aile volante peut donc être construite plus légèrement. D'où gain de poids, économie de construction et d'exploitation.

Le hic est qu'une aile volante à profil classique est naturellement instable (*voir encadré p. 102*). On sait aujourd'hui, sur les avions de combat modernes, compenser cette instabilité — recherchée par ailleurs pour les qualités de légèreté et de manœuvrabilité qu'elle confère à l'avion — grâce à l'utilisation de commandes de vol électriques, ou CDVE (encadré déjà cité). Mais sur un avion de ligne, personne ne dispose d'un siège éjectable pour se tirer d'affaires si l'avion vient à tomber en panne totale d'électricité — même si ce risque est infime vu le nombre de doubles ou triples circuits et les systèmes de secours. Il est possible de réaliser des profils d'aile volante à double courbure qui, eux, sont autostables (ou naturellement stables). Il n'en reste pas moins que, jusqu'à nouvel ordre, on ne construit pas d'avion civil naturellement instable, et que si l'Airbus A 320 est doté de commandes de vol électriques, ce n'est pas parce qu'il est instable, mais uniquement pour permettre un pilotage plus souple. Aussi — et surtout — les CDVE, en compensant en temps réel toute contrainte aérodynamique, permettent des structures alaires plus légères.

Quoi qu'il en soit, la nouvelle formule aérodynamique dont parle Adam Brown, si elle s'inspire assez étroitement de l'aile volante, n'en est pas tout à fait une. Airbus Industrie s'en tiendrait plutôt à l'appareil décrit plus haut, formule hybride rappelant la forme d'une raie Manta et dotée d'une dérive fixée dans le bloc qui renfermerait la motorisation. Cette formule poserait moins de problèmes de stabilité de route (stabilité latérale), grâce à la dérive, surface verticale fixe dont étaient dépourvus cer-

tains prototypes testés aux Etats-Unis au lendemain de la Deuxième Guerre mondiale. A cette époque, on ne maîtrisait pas les problèmes liés à l'instabilité, et les constructeurs d'outre-Atlantique — Lockheed notamment — ne sont pas allés au-delà de quelques prototypes construits sur crédits militaires et dont certains ont eu des accidents.

Aujourd'hui, les commandes de vol électriques intégrées à un "contrôle actif généralisé" (*voir encadré p. 102*) permettent de résoudre ces problèmes. C'est le cas, par exemple, sur le bombardier américain B-2. Ou sur le F 117, dont un pilote disait récemment que l'appareil qu'il avait utilisé durant la guerre du Golfe était aussi stable qu'un avion classique. Et que sa maniabilité et sa manœuvrabilité étaient parfaitement compatibles avec les exigences des missions assignées à ce chasseur-bombardier. Caractéristiques importantes, dans la perspective de l'adoption d'une telle formule pour un avion commercial. La maniabilité exprime la facilité, la rapidité avec laquelle un avion répond aux sollicitations du pilote. Quant à la manœuvrabilité, elle caractérise le rapport qui existe entre le débattement de la gouverne commandée par le pilote et l'ampleur de la modification de la trajectoire qui en résulte : inclinaison à droite ou à gauche, augmentation ou diminution de pente. Ce que peut faire un appareil militaire appelé à évoluer dans des conditions difficiles, un avion civil peut aussi l'accomplir. Sur ce plan, donc, rien n'empêcherait de construire des avions commerciaux à aile volante, ou plus exactement des avions "intégrés", comme indiqué plus haut.

**Les aéroports devront quand même s'adapter.**

Deux inconvénients, cependant, parfois mis en avant pour alimenter un certain scepticisme vis-à-vis de cette formule. Premier inconvénient : la nécessité de revoir complètement l'installation des accès entre les aérogares et les avions, conçus pour les appareils actuels et qui ne seraient plus



## POUR SATISFAIRE LES NOUVEAUX BESOINS, DES AVIONS DE LIGNES NATURELLEMENT INSTABLES

Sur un avion naturellement stable, le foyer aérodynamique est en arrière du centre de gravité. Le foyer aérodynamique est le point théorique (A) où agit la résultante (F) des forces de portance qui tient l'avion en l'air en s'opposant à la résultante (M) de la masse de l'avion, laquelle s'exerce à son centre de gravité (O). En vol, l'avion doit être en équilibre autour de ce même centre de gravité, et il faut donc compenser le moment piqueur ( $F \times AO$ ) dû à la force F multipliée par son bras de levier (AO). Pour cela, l'empennage de l'avion (son plan horizontal) est construit avec un léger angle d'incidence négatif : il fournit alors une petite portance négative (vers le bas), ou déportance (E), qui, multipliée par son bras de levier BO, donne un moment cabreur  $E \times BO$

égal et opposé à  $F \times AO$ . Lorsque l'avion passe dans une perturbation qui lui fait lever le nez (1) — moment cabreur =  $C_x NO$  —, l'angle d'incidence positive de l'aile et l'angle d'incidence négative de l'empennage diminuent ; la portance  $F_1$  augmente et la déportance  $E_1$  diminue. Cela crée un moment résiduel piqueur ( $F_1 \times AO - E_1 \times BO = C_x NO$ ) qui ramène l'avion à l'horizontale. Même chose si la perturbation donne un mouvement piqueur à l'avion (2) : l'aile perd de la portance et l'empennage gagne de la déportance, ce qui fait redresser l'avion à l'horizontale. L'avion est donc naturellement stable.

Sur un avion naturellement instable, le foyer aérodynamique est en avant du centre de gravité, et l'empennage est légèrement porteur par construction (incidence positive). En suivant le même raisonnement que plus haut, on voit qu'à toute perturbation, en cabré (3) ou en piqué (4), l'avion réagit en amplifiant le mouvement. Dangereux ! Car, en cabré, par exemple, l'aile finira par avoir un angle d'incidence si grand que les filets d'air qui s'écoulent sur son profil finiront par se décrocher de la surface de l'aile. Résultat : plus de portance (on dit que l'aile "décroche"), l'avion ne tient plus en l'air.

**Pourquoi des avions instables ?** Parce qu'ils ont un avantage certain : alors qu'un avion naturellement stable tend à refuser de modifier sa position, un avion naturellement instable est extrêmement maniable, puisque, on l'a vu, il répond très vite à la moindre sollicitation (qui viendra, cette fois, du pilote), ce qui est un énorme avantage pour un avion de combat.

Quant aux sollicitations indésirables, elles sont instantanément neutralisées. Des senseurs captent ces portances ou déportances parasites en de nombreux points de la voilure, et les envoient à un ordinateur à bord qui les analyse en temps réel et renvoie tout aussi rapidement des ordres à différents volets et gouvernes pour compenser ces effets et maintenir ainsi l'avion tout à fait stable artificiellement.

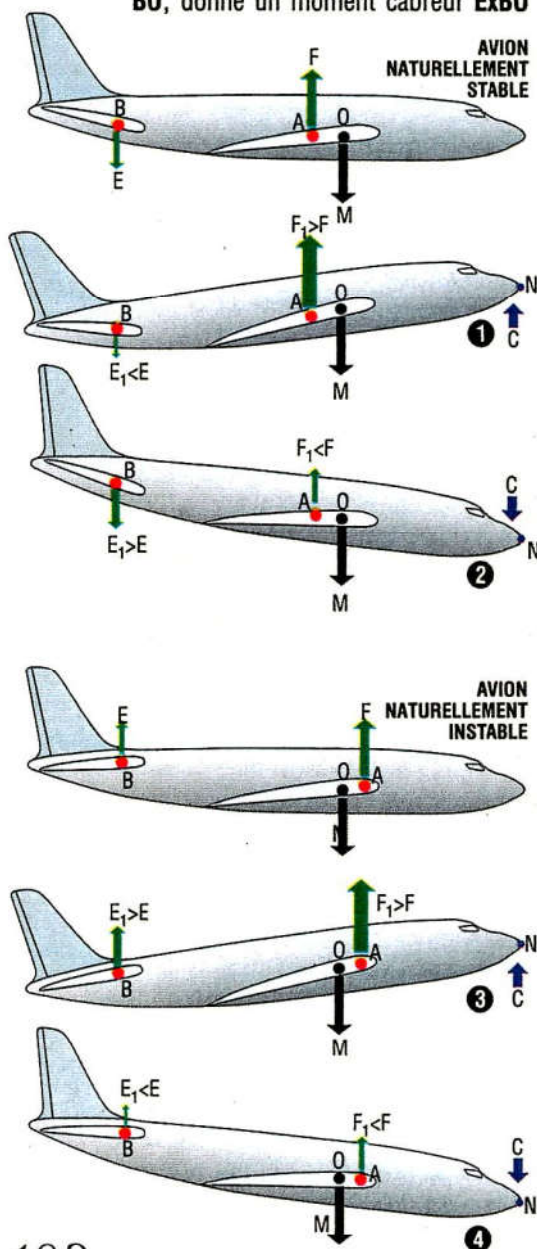
Les avions dotés d'un tel système autonome, dit "contrôle actif généralisé" (CAG), sont équipés de commandes de vol électriques (CDVE), seules capables d'actions extrêmement rapides (une fraction de seconde) et permanentes sur les gouvernes et les volets. Les constructeurs sont ainsi beaucoup plus libres de faire des avions dont l'architecture corresponde plus facilement aux besoins économiques des futurs exploitants.

adaptés aux appareils "exotiques". Par exemple : les couloirs télescopiques actuels sont certainement tout à fait inadaptés pour évacuer les mille passagers d'un de ces gros porteurs. Faudra-t-il alors aménager des batteries d'escalators souterrains entre l'aérogare et des trappes aménagées sous les ailes ? Un casse-tête parmi d'autres pour les exploitants des aéroports.

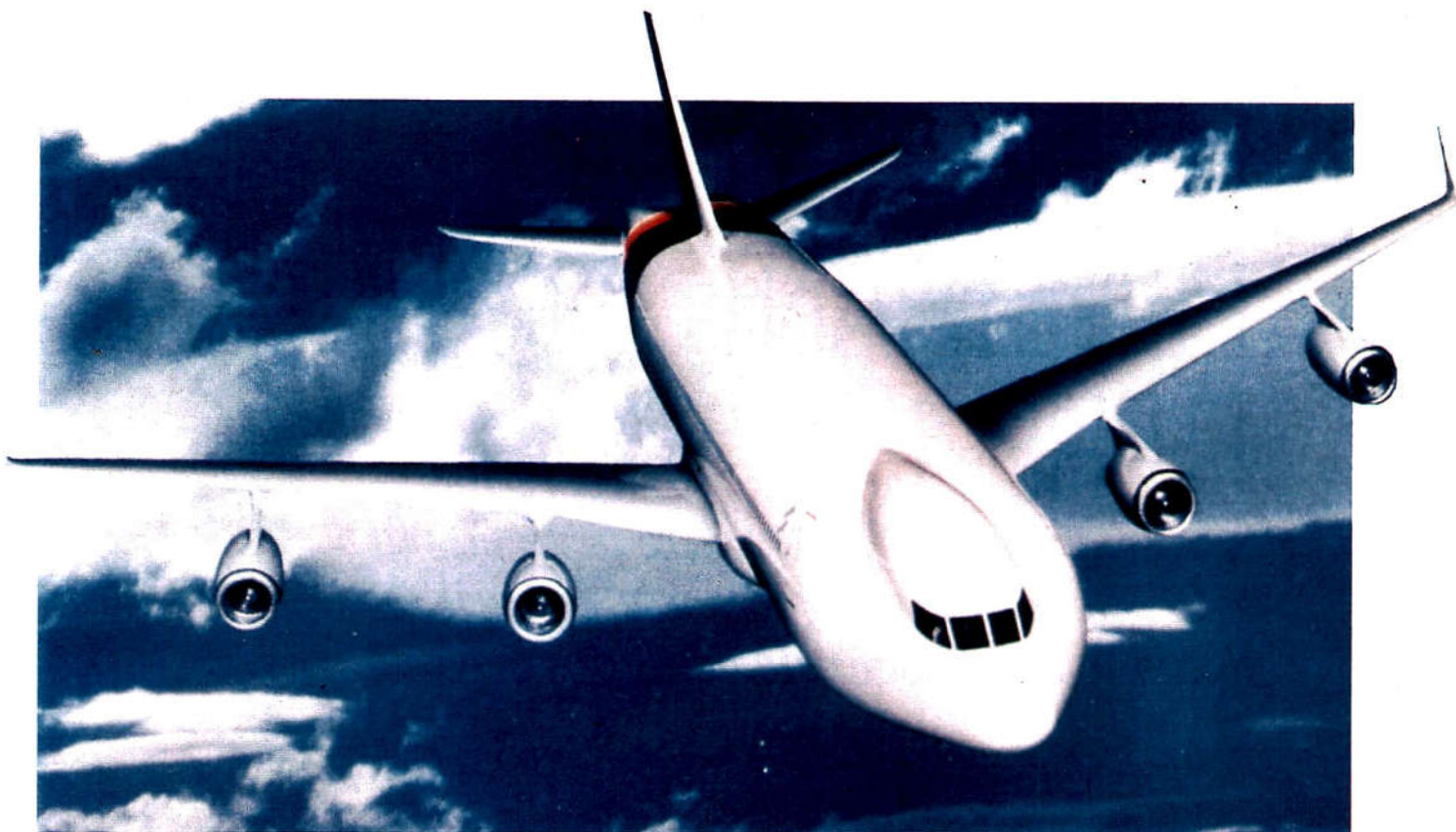
Le second inconvénient est d'ordre opérationnel. A masse égale, la vitesse de décollage ou d'atterrissage d'un avion à aile delta ou à aile volante, est supérieure de 25 à 30 % à celle d'un avion à aile classique. Qui dit vitesse supérieure dit également longueur de piste supérieure. Les visiteurs du Salon aéronautique du Bourget, en juin dernier, ont pu se rendre compte que le F 117, par exemple, avait besoin de "beaucoup de piste" pour atterrir et décoller, lorsqu'il est arrivé la veille de l'ouverture du salon et qu'il en est reparti. Entre-temps, l'appareil est resté en exposition statique : les Américains ne tenaient pas à ce que leur avion répète chaque jour une démonstration qui aurait souligné ses mauvaises caractéristiques. Et c'est un F 117 venu d'Allemagne qui a effectué quelques passages au-dessus du Bourget.

Qu'en serait-il alors, pour un appareil qui, à pleine charge, pèserait de 550 à 600 tonnes ? Augmenter la longueur des pistes des aéroports civils ne serait certes pas une solution facile à adopter, compte tenu des coûts de réalisation et des problèmes que cela poserait pour l'achat des terrains. La question reste pendante pour l'instant.

Cela étant, la formule de l'avion intégré a de quoi séduire. Soit pour le transport de passagers, qui se répartiraient pour un tiers dans le fuselage et pour deux tiers dans les ailes, soit pour le transport de fret. On peut même imaginer des modèles où toute la charge utile serait placée dans les ailes. Le chargement et le déchargement seraient grandement facilités, grâce au nombre important d'ouvertures







**Un Airbus à pont double.** Un des projets de super-gros porteur (600-700 passagers) du constructeur européen consiste en un quadiréacteur à fuselage suffisamment large pour contenir deux ponts passagers côte à côte (en plus d'un pont de fret au-dessous).

qu'il serait possible d'aménager dans la structure.

**Un Airbus à aile manta ?** Pour l'instant, il s'agit seulement d'un concept, que les bureaux d'études des partenaires industriels du consortium européen n'ont pas encore commencé d'étudier véritablement. Le successeur de l'Airbus A-340 sera encore, très certainement, un appareil classique. Le Super Jumbo à aile manta ou à aile volante de 800 à 900 passagers, voire davantage, sera peut-être pour la génération suivante. Telle est en tout cas l'opinion de l'un des représentants de la division avions de l'Aérospatiale qui travaille sur les projets futurs.

Les études déjà réalisées dans le monde plaident en faveur de cette opinion. A la fin des années soixante-dix, la NASA et Lockheed, avaient ainsi proposé quelques formules possibles d'appareils géants. La NASA avait ainsi imaginé, en 1976, un avion cargo géant propulsé par huit réacteurs. Poids au décollage : 1 600 tonnes, quatre fois le poids d'un Boeing 747. Le projet, qui donna lieu à des études en soufflerie, s'appuyait sur la formule dite *Span Loader*, littéralement : chargement sur toute la longueur de l'envergure. Il tenait à la fois de l'aile volante, avec un fuselage central réduit à sa plus simple expression, c'est-à-dire pratiquement limité à un cockpit, et du boomerang, formule d'aile à flèche relativement forte avec un vrai fuselage intégré (*voir dessin 5, p. 99*). Les profils retenus étaient très épais. Selon l'étude réalisée par la NASA, le *Span Loader* pouvait franchir des distances de 20 000 km. Et, sur des distances plus courtes, de l'ordre de 3 000 à 5 000 km (vols transatlan-

tiques), la consommation de carburant par tonne de fret transportée était deux fois moindre que sur un avion classique. La géométrie de l'aile volante permet en effet une optimisation de l'occupation des volumes, et son rendement aérodynamique, nous l'avons vu, est considérablement amélioré.

Une autre étude, menée cette fois conjointement par la NASA et Lockheed, compare un appareil à aile volante et un appareil classique ayant tous deux le même poids au décollage (544 tonnes) et la même charge utile de 272 tonnes. Pour répondre à un tel programme, un avion classique (A) emportant sa charge dans le fuselage, propulsé par six réacteurs de 26 t de poussée unitaire, ne pourra franchir que 1 300 milles nautiques à une vitesse de croisière de Mach 0,8. L'aile volante aura une vitesse de croisière supérieure : Mach 0,87 et son rayon d'action sera doublé. En revanche, il lui faudra six réacteurs de 32 t de poussée unitaire. L'avantage ici, va donc nettement à l'avion classique.

Tout change si l'on passe à la formule du *Span Loader*. Avec deux cas de figures distincts. Premier cas (C) : un avion classique avec une aile au profil très épais, la charge utile se répartissant pour un tiers dans le fuselage et deux tiers dans l'aile. La distance franchissable passe alors à 4 200 milles nautiques. Surtout, la poussée nécessaire n'est plus que de 100 t au total, fournie par quatre réacteurs de 25 t chacun. Le second cas de figure (D) est celui du *Span Loader* boomerang, dont le principe est évoqué plus haut. La distance franchissable est alors de 4 100 milles nautiques et la poussée néces-

(suite du texte page 168)